



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

PERTTU URPI
IRTOHÖYRYSTINTUOTEPERHEEN SUUNNITTELU

Diplomityö

Tarkastaja: Yliopistonlehtori Timo Lehtonen
Tarkastaja ja aihe hyväksytty
Konetekniikan tiedekuntaneuvoston
kokouksessa 29. marraskuuta 2017

TIIVISTELMÄ

PERTTU URPI: Irtohöyrystintuoteperheen suunnittelu

Tampereen teknillinen yliopisto

Diplomityö, 108 sivua, 11 liitesivua

Marraskuu 2018

Konetekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma

Pääaine: Konetekniikka

Tarkastaja: Yliopistonlehtori Timo Lehtonen

Avainsanat: irtohöyrystin, tuoteperhe, ATP, GWP, kylmäkuljetus, PSP, BfP

Irtohöyrystintuoteperheen suunnittelu tehtiin Lumikko Technologies Oy:lle. Suunniteltavan irtohöyrystintuoteperheen on tarkoitus palvella yrityksen nykyistä ja tulevaa lämpötilansäätölaitekantaa. Tarpeena oli saada suunniteltua kolme eri kokoluokan irtohöyrystintä täyttämään kylmäkuljetusten eri korijakovaihtoehdot.

Irtohöyrystimen suunnittelua varten tutkittiin mm. tuotteen rakenteen muotoiluperiaatteita, Product Structuring Principles (PSP) ja modulaarisen tuoteperheen suunnitteluteoriaa, Brownfield Process (BfP). Suunnitteluun mahdollisesti vaikuttavia kylmäkuljetuksia koskevia muuttuvia ATP-sopimuksia sekä kylmäaineiden GWP-arvoja arvioitiin myös.

Pyrkimyksenä suunnittelussa oli käyttää hyödyksi yrityksen MTE7 irtohöyrystimestä tuttuja ratkaisuja. Raja-arvoina pidettiin kilpailijoiden laitteiden suorituskykyä, kokoa ja hintaa. Tavoitteena oli suunnitella tehokkaampi, pienempi ja edullisempi irtohöyrystin kuin kilpailijoilla.

Tämän työn tarkastelun kohteena ollut tuoteperheen leveimmän mallin ensimmäinen irtohöyrystinprototyyppi jäi suorituskyvyltään vain hieman kilpailijoista, mutta koon ja hinnan puolesta se saavutti tavoitteet. Prototyypin perusteella irtohöyrystimeen oli tehtävä muutoksia, että sen kapasiteetti saataisiin kasvatettua riittävälle tasolle.

ABSTRACT

PERTTU URPI: The design of evaporator product family
Tampere University of Technology
Master of Science Thesis, 108 pages, 11 Appendix pages
November 2018
Master's Degree Programme in Machine Technology
Major: Mechanical Engineering
Examiner: University Lecturer Timo Lehtonen

Keywords: evaporator, product family, ATP, GWP, cold chain transport, PSP, BfP

The design of evaporator product family was made for Lumikko Technologies Oy. Evaporator product family to be designed was meant to serve company's current and future temperature control unit range. The demand was to fulfil different body dividing options of cold chain transports with three different size range evaporators.

Product Structuring Principles (PSP) and modular product family designing theory Brownfield Process (BfP) were studied for the design of the evaporator. Changing ATP Agreements and GWP-values of refrigerants which could possibly affect the design were also estimated.

The aim of the design was to use the known solutions from company's MTE7 evaporator. Limiting values were capacity, size and price of the competitor's evaporators. The goal was to design more powerful and smaller evaporator with lower price than competitor's evaporators.

The first evaporator prototype of the widest model in the product family, which was the scope of thesis, left behind slightly in the capacity but met the size and price goals. According to evaporator prototype there were some changes to be made to get the capacity to adequate level.

SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO	1
1.1	Lumikko Technologies Oy	1
1.2	Työn tavoitteet ja hyödyt	1
1.3	Työn saavutukset	2
2.	TYÖN LÄHTÖKOHDAT	3
2.1	Lämpötilansäätölaitteen toiminta ja höyrystimet	3
2.2	Suunnittelun lähtökohdat	7
2.3	Suunnittelun tarve	8
2.4	Suunnittelun rajaukset	9
2.5	Tavoitteet ja onnistumisen mittarit	9
3.	TUTKIMUSMENETELMÄT JA AINEISTO	10
3.1	Tuoteperhe- ja alustasuunnittelu	10
3.1.1	Tuoteperhe	11
3.1.2	Tuotealusta	13
3.2	Standardointi	14
3.3	Modularisointi	18
3.3.1	Modularisointitapa: Modular Function Deployment (MFD)	22
3.3.2	Modularisoinnin hyödyt	26
3.4	Arkkitehtuuri	27
3.5	Konfigurointi	30
3.6	Product Structuring Principles (PSP)	32
3.6.1	Company Strategic Landscape (CSL)	33
3.6.2	PSP:n pääperiaatteet	34
3.6.3	Pääkomponenttien vaihtomahdollisuus	34
3.6.4	Standardipaikoitus osille	35
3.6.5	Tilavaraus erilaisille komponenteille	37
3.6.6	Standardoinnin täysi hyödyntäminen	38
3.6.7	Vaihtoalueet varioitavien elementtien välillä	39
3.6.8	Yksi ratkaisu kustomoidulle perusrungolle	40
3.6.9	Suunnitteluperiaatteiden muistilista	41
3.7	Brownfield Process (BfP)	41
3.8	Brownfield Process 10 askelmaa	49
3.8.1	Askel 1: Tavoitteen asettaminen liiketoimintaympäristöön perustuen	49
3.8.2	Askel 2: Moduulijärjestelmän geneerinen elementtimalli	50
3.8.3	Askel 3: Arkkitehtuuri: geneeriset elementit ja rajapinnat	51
3.8.4	Askel 4: Tavoitteen asettaminen asiakasnäkökulmaan perustuen	53
3.8.5	Askel 5: Alustava tuoteperhemäärittely	55
3.8.6	Askel 6: Konfigurointitietämys: geneeriset elementit ja asiakastarpeet	57

3.8.7	Askel 7: Modulaariarkkitehtuuri: moduulit ja rajapinnat	58
3.8.8	Askel 8: Konfigurointitietämys: moduulivariantit ja asiakastarpeet..	62
3.8.9	Askel 9: Tuoteperheen dokumentointi.....	64
3.8.10	Askel 10: Liiketoimintavaikutusanalyysi.....	66
3.8.11	BfP:n yhteenveto	69
3.9	Suunnitteluun vaikuttavat ulkoiset rajoitteet.....	70
3.9.1	ATP-sopimus	70
3.9.2	Kylmäaineiden GWP-arvot.....	73
4.	TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU.....	75
4.1	MTE7 suunnittelulähtökohtana	75
4.2	Kilpailijoiden laitteet.....	80
4.3	Ensimmäinen konsepti	81
4.4	Irtohöyrystintuoteperheen suunnittelu.....	83
4.4.1	PSP:n hyödyntäminen	84
4.4.2	PSP:llä saavutetut tulokset	89
4.4.3	BfP:n hyödyntäminen	90
4.4.4	BfP:llä saavutetut tulokset	99
4.4.5	Muut suunnittelussa huomioitavat asiat.....	100
5.	YHTEENVETO	101
	LÄHTEET.....	103

LIITE A: BFP ASKEL 1 PÄÄSISÄLTÖ

LIITE B: BFP ASKEL 2 PÄÄSISÄLTÖ

LIITE C: BFP ASKEL 3 PÄÄSISÄLTÖ

LIITE D: BFP ASKEL 4 PÄÄSISÄLTÖ

LIITE E: BFP ASKEL 5 PÄÄSISÄLTÖ

LIITE F: BFP ASKEL 6 PÄÄSISÄLTÖ

LIITE G: BFP ASKEL 7 PÄÄSISÄLTÖ

LIITE H: BFP ASKEL 8 PÄÄSISÄLTÖ

LIITE I: BFP ASKEL 9 PÄÄSISÄLTÖ

LIITE J: BFP ASKEL 10 PÄÄSISÄLTÖ

LIITE K: BFP:N YHTEENVETO

KUVALUETTELO

Kuva 1.	<i>Lumikko lämpötilansäätölaite kuorma-autossa (Lumikko Technologies Oy).....</i>	<i>1</i>
Kuva 2.	<i>Kylmäkoneisto.....</i>	<i>3</i>
Kuva 3.	<i>Höyrystimien sijoitusvaihtoehtoja kuorma-autossa.....</i>	<i>5</i>
Kuva 4.	<i>Korijakovaihtoehtoja.....</i>	<i>7</i>
Kuva 5.	<i>Irtohöyrystin MTE7 (Lumikko Technologies Oy).....</i>	<i>8</i>
Kuva 6.	<i>Kokonaisvaltainen näkymä tuoteperhesuunnittelusta ja - tuotekehityksestä (Suh 2001).....</i>	<i>11</i>
Kuva 7.	<i>Ryobi ONE+ työkalusarja (Netrauta).....</i>	<i>12</i>
Kuva 8.	<i>Esimerkki teollisuus-, yritys- ja mallikohtaisesta standardikomponentista ja niiden rajapinnoista autoteollisuudesta (Fujimoto 2007).....</i>	<i>15</i>
Kuva 9.	<i>Syy-seuraus-kaavion tarkoitus on helpottaa modulaarisen tuoteperheen suunnittelun päämäärien asettamista, kartan on alkujaan esittänyt Juuti (2008).</i>	<i>16</i>
Kuva 10.	<i>Elinkaarimodulaarisuudessa moduuliryhmät rakentuvat hyödyllisten vaikutusten ympärille, jonka modulaarisuus laukaisee tuotteen jossain elinkaarivaiheessa. Moduulit esitettynä sini-, kelta-, ja punavärein (Lehtonen 2007).</i>	<i>20</i>
Kuva 11.	<i>Modulaarisuuden tyypit (Abernathy & Utterback 1978).....</i>	<i>21</i>
Kuva 12.	<i>Modulaarisuuden lisätyypit (Elgård & Miller 1998; Miller & Elgård 1999).....</i>	<i>22</i>
Kuva 13.	<i>Modular function deployment (Pakkanen 2015).....</i>	<i>23</i>
Kuva 14.	<i>Product management map (PMM) - tuotteen hallintakartta (Jiao et al. 2014).....</i>	<i>24</i>
Kuva 15.	<i>Moduuliajurit tuotteen elinkaarivirtaan sijoiteltuna (Jiao et al. 2014).....</i>	<i>25</i>
Kuva 16.	<i>Rakennekuva suljetusta modulaarisesta systeemistä: Mauser-Werke piirustuspöytä (Lehtonen 2007) (orig:(Borowski 1961)).....</i>	<i>29</i>
Kuva 17.	<i>Esimerkki kiinteästä arkkitehtuurista (Alkuperäinen kuva: Ulrich & Eppinger (2008)) (Pakkanen 2015).....</i>	<i>30</i>
Kuva 18.	<i>Konfigurointiprosessin viitekehys Martion (2007) mukaan (Pakkanen 2015).....</i>	<i>31</i>
Kuva 19.	<i>Osaksi konfiguroitava tuoterakenne sisältää standardeja, konfiguroitavia, osaksi konfiguroitavia ja uniikkeja elementtejä (Juuti 2008). Juuti & Lehtonen (2006) ovat pohtineet miten tällaiset rakenteet ovat hyödyllisiä monimutkaisien tuotteiden toimituksissa (Pakkanen 2015).....</i>	<i>31</i>
Kuva 20.	<i>Company Strategic Landscape (CSL) yleisellä tasolla (Lehtonen 2007)</i>	<i>33</i>

Kuva 21.	<i>Scanian kuorma-autoilla kaikki moottorit, voimalinjat ja hytit omaavat samat rajapinnat ja ovat vaihtokelpoisia. (Lehtonen et al. 2017)</i>	35
Kuva 22.	<i>NB 1351, Color line kolmio putkijärjestely, Aker/Mayer ryhmäläpivienti (Lehtonen et al. 2017)</i>	35
Kuva 23.	<i>Teollisuusstandardiesimerkki M4 Carbine accessories (Nissan Goldberg)</i>	36
Kuva 24.	<i>Teollisuusstandardiesimerkki, Mil-Spec Picatinny lisävarustekisko. (Lehtonen et al. 2017)</i>	37
Kuva 25.	<i>Systemaattinen lähestymistapa variaatioiden määrittelemiseksi, (MAN et al. 2014). (kts. Lehtonen et al. 2017)</i>	37
Kuva 26.	<i>Volkswagen MBQ arkkitehtuuri (Lehtonen et al. 2017)</i>	38
Kuva 27.	<i>Volkswagen MQB arkkitehtuuri (Kreindler)</i>	39
Kuva 28.	<i>Rajapintaorientointunut lähestymistapa varioituvuuden hallintaan (Holmqvist 2004). (kts. Pakkanen 2015)</i>	39
Kuva 29.	<i>Ei erilaisia malleja vain ”kuorma-auto” (Lehtonen et al. 2017)</i>	40
Kuva 30.	<i>PSP suunnitteluperiaatteiden muistilista (Lehtonen et al. 2017)</i>	41
Kuva 31.	<i>Avainelementit modularisaatiossa ja konfiguroinnissa (Juuti 2008)</i>	43
Kuva 32.	<i>Brownfield Process (BfP). Vaikka prosessin sisältö on tässä esitetty lineaarisena, voi se sisältää iteraatioita ja kustomointia (Pakkanen 2015)</i>	45
Kuva 33.	<i>Brownfield process (BfP) olemassa olevan tuotevariaation rationalisoiminen modulaarista tuoteperhettä kohti joka tukee tuotekonfigurointia (Pakkanen et al. 2016)</i>	46
Kuva 34.	<i>DSM:ää voidaan käyttää aputyökaluna rajapintojen tunnistamiseen geneeristen elementtien välillä. Tässä geneerisellä elementillä 1 on rajapinnat elementtien 2 ja 3 kanssa. Duplikaatteja ei ole merkitty matriisiin (Pakkanen 2015)</i>	52
Kuva 35.	<i>Alustava tuoteperheen kuvaus tehdään kolmeen näkymään PFMP menetelmää käyttäen. Tarkoitus on määritellä mitä näihin kolmeen näkymään kuuluu, mitä yhteyksiä niillä on toisiinsa ja mitä standardointimahdollisuuksia löytyy (Pakkanen 2015)</i>	55
Kuva 36.	<i>Esimerkki muokatusta K-matriisista alustavan konfigurointitietämyksen analysoimiseen. Matriisia käytetään organisoimaan geneeriset elementit ja asiakastarpeet, joita tarvitaan variaation näkökulmasta (Pakkanen 2015)</i>	58
Kuva 37.	<i>Geneerinen elementti ja niiden rajapinnat pitää määritellä tarkasti (Pakkanen 2015)</i>	60
Kuva 38.	<i>Täydellinen konfigurointitietämys modulaarisesta tuoteperheestä on esitetty käyttämällä samaa matriisia kuin askelmassa 6. Nyt geneeristen elementtien sisältö ja tyyppi on lisätty matriisiin. Sen jälkeen tarkempi konfigurointitietämys voidaan määritellä matriisiin (Pakkanen 2015)</i>	62

Kuva 39.	<i>Matriisiesimerkki yhteensopivuuksien määrittämiseen geneeristen elementtien ja niiden ratkaisujen välillä, nämä periaatteet on esittänyt Bongulielmi (2013) (Pakkanen 2015).</i>	63
Kuva 40.	<i>Matriisiesimerkki yhteensopivien asiakastarpeiden määrittämiseen, periaatteet on esittänyt Bongulielmi (2013) (Pakkanen 2015).</i>	64
Kuva 41.	<i>PSBP dokumentointi visualisoi tuoteperheen päättelyketjun (Pakkanen 2015).</i>	65
Kuva 42.	<i>Liiketoimintavaikutusanalyysimallin pääidea BfP:ssä (Pakkanen 2015).</i>	66
Kuva 43.	<i>Moduulijärjestelmän liiketoimintavaikutuksen arviointimalli. Tässä askelmassa ohjaavat periaatteet ja mekanismit on käyty läpi ja niiden mahdolliset kustannukset, tulot, laatu, resurssien käyttö ja ajan vaikutus rahassa mitattuna on arvioitu prosessin askelmiin yhteyteen (Pakkanen 2015).</i>	67
Kuva 44.	<i>Ilmatilavuuden vaihtuvuusvaatimus, suhteellinen auringon altistus ja säteilyvoimakkuushuippu suhteessa leveyspiireihin (Mynott et al. 2018)</i>	73
Kuva 45.	<i>MTE7 irtohöyrystin törmäyssuojalla ja ilmanohjaimella (Varaosakirja MTE7 2018).</i>	75
Kuva 46.	<i>MTE7 irtohöyrystimen pohjalevy, höyrystimet, kylmäpuolen komponentit ja sähkökomponentit sekä ilmanohjain (Varaosakirja MTE7 2018).</i>	76
Kuva 47.	<i>MTE7 irtohöyrystimen puhaltimen kiinnityslevyt, puhaltimet, puhallinkotelot, puhallinsuppilot ja verkot (Varaosakirja MTE7 2018).</i>	77
Kuva 48.	<i>MTE7 irtohöyrystimen tippavesivastus, tippavesikaukalo/kuoret sekä törmäyssuoja (Varaosakirja MTE7 2018).</i>	78
Kuva 49.	<i>MTE7 irtohöyrystimen äärimitat ja kiinnityspisteet (Asennusohje MTE7 2017).</i>	79
Kuva 50.	<i>Ensimmäiset irtohöyrystimen käsivaraiset skissit konseptista.</i>	82
Kuva 51.	<i>Ensimmäiset irtohöyrystimen 3D-mallit konseptista.</i>	82
Kuva 52.	<i>Alustavien skissien ja 3D-mallien pohjalta tehty perustusmalli irtohöyrystintuoteperheelle.</i>	83
Kuva 53.	<i>PSP:n erilaisten komponenttien tilavarausidean hyödyntämistä 2000 mm leveän mallin kohdalla.</i>	85
Kuva 54.	<i>Irtohöyrystimen poikkileikkaus puhaltimen keskeltä.</i>	86
Kuva 55.	<i>PSP:n erilaisten komponenttien tilavarausidean hyödyntämistä 1400 mm leveän mallin kohdalla.</i>	87
Kuva 56.	<i>PSP:n erilaisten komponenttien tilavarausidean hyödyntämistä 700 mm leveässä mallissa.</i>	87
Kuva 57.	<i>Ensimmäinen prototyyppi ilman sivukuoria.</i>	90
Kuva 58.	<i>Visuaalinen irtohöyrystimen rajapintaesitys MTE7:ään perustuen.</i>	95

Kuva 59.	<i>BfP:n askeleen 1 pääsisältö (Tavoitteen asettaminen liiketoimintaympäristöön perustuen) (Pakkanen 2015).</i>	109
Kuva 60.	<i>BfP:n askeleen 2 pääsisältö (Geneerinen elementtimalli moduulijärjestelmässä) (Pakkanen 2015).</i>	110
Kuva 61.	<i>BfP:n askeleen 3 pääsisältö (Arkkitehtuuri: geneeriset elementit ja rajapinnat) (Pakkanen 2015).</i>	111
Kuva 62.	<i>BfP:n askeleen 4 pääsisältö (Tavoitteen asettelu asiakasrajapintaan perustuen) (Pakkanen 2015).</i>	112
Kuva 63.	<i>BfP:n askeleen 5 pääsisältö (Alustava tuoteperhekuvaus) (Pakkanen 2015).</i>	113
Kuva 64.	<i>BfP:n askeleen 6 pääsisältö (Konfigurointitietämys: geneeriset elementit ja asiakastarpeet) (Pakkanen 2015).</i>	114
Kuva 65.	<i>BfP:n askeleen 7 pääsisältö (Moduuliarkkitehtuuri: moduulit ja rajapinnat) (Pakkanen 2015).</i>	115
Kuva 66.	<i>BfP:n askeleen 8 pääsisältö (Konfigurointitietämys: moduulivariantit ja asiakastarpeet) (Pakkanen 2015).</i>	116
Kuva 67.	<i>BfP:n askeleen 9 pääsisältö (Tuoteperheen dokumentointi) (Pakkanen 2015).</i>	117
Kuva 68.	<i>BfP:n askeleen 10 pääsisältö (Liiketoimintavaikutusanalyysi) (Pakkanen 2015).</i>	118
Kuva 69.	<i>BfP:n yhteenveto (Pakkanen 2015).</i>	119

TAULUKKOLUETTELO

<i>Taulukko 1.</i>	<i>Modularisointia tasapainottaa kolme tärkeää tekijää, perustuu lähteeseen (Lampel & Mintzberg 1996).....</i>	<i>26</i>
<i>Taulukko 2.</i>	<i>Arkkitehtuuri on joko kiinteä tai modulaarinen ja avoin tai suljettu, perustuu lähteeseen (Fujimoto 2007).....</i>	<i>28</i>
<i>Taulukko 3.</i>	<i>Moduulijärjestelmän elementit ja edotukset informaatioisällölle (Pakkanen 2015).....</i>	<i>44</i>
<i>Taulukko 4.</i>	<i>Irtohöyrystimien vertailutaulukko</i>	<i>81</i>
<i>Taulukko 5.</i>	<i>Irtohöyrystintuoteperheen DSM-tilukko.</i>	<i>94</i>

LYHENTEET JA MERKINNÄT

ATP	Accord relatif aux Transports internationaux de denrées Périssables et aux engins spéciaux a utiliser pour ces transports - helposti pilaantuvien elintarvikkeiden kansainvälisiä kuljetuksia ja tällaisissa kuljetuksissa käytettävää erityiskalustoa koskeva sopimus
BfP	Brownfield Process - modulaarisen tuoteperheen suunnitteluteoria
CSL	Company Strategic Landscape - modulaarisen tuoteiston suunnittelun näkökulmat
DFMA	Design for Manufacturing and Assembly – suunnittelu valmistusta ja asennusta ajatellen
DFX	Design for X – MFD:n suunnittelu äänet huomioiden
DPM	Design Property Matrix – suunnitteluominaisuusmatriisi
DSM	Design Structure Matrix – työkalu geneeristen elementtien rajapintojen määrittelyyn
ECOSOC	Economic and Social Council – talous- ja sosiaalineuvosto
GWP	Global Warming Potential – kasvihuonehaitallisuusarvo
K-matriisi	Konfigurointimatriisi
KET	Keskeneräinen tuotanto
MIM	Module Indication Matrix – moduulimerkinätmatriisissa
MTE	Multi Temperature Evaporator – irtohöyrystin
MFD	Modular Function Deployment – modulaarisen toiminnon käyttöönotto
PFMP	Product Family Master Plan – tuoteperheen kokonaissuunnitelma
PMM	Project Management Map – projektin hallintakartta
PSBP	Product Structuring Blue Print – tuotekoostamisen rakennepiirustus
PSP	Product Structuring Principles – tuotteen rakenteen muotoiluperiaatteet
UNECE	United Nations Economic Comissions for Europe – YK:n Euroopan talouskomissio
QFD	Quality Function Deployment – laatutoiminnon täytäntöönpano
V-matriisi	Yhteensopivuusmatriisi
VoX	Voices of X – MFD:n suunnitteluäänet (ajatukset, tarpeet, määritykset)

1. JOHDANTO

1.1 Lumikko Technologies Oy

Lumikko Technologies Oy on valmistanut Lumikko -tuotemerkillä lämpötilansäätölaitteita yli 40 vuoden ajan (Kuva 1). Yrityksen tavoitteena on joustava ja asiakaslähtöinen toimintamalli, jonka avulla luodaan nopeasti asiakastarpeiden mukaisia tuotteita. Asiakastarpeet ja käyttöolosuhteet otetaan huomioon innovatiivisia kuormatilan lämmönsäätölaitteita suunniteltaessa, joiden lämpöteho on markkinoiden paras.



***Kuva 1.** Lumikko lämpötilansäätölaite kuorma-autossa (Lumikko Technologies Oy).*

Lumikko pyrkii saavuttamaan vakaata kasvua, laajentamaan toimintaansa ja tulemaan tunnetuksi maailman energiatehokkaimpien, ympäristöystävällisimpien ja teknisesti kehitetyimpien sekä vähän huoltoa tarvitsevien lämmönsäätölaitteiden valmistajana. Asiakaslähtöinen ja joustava toimintamalli ohjaa toimintaa ja tukee asiakkaidemme liiketoiminnan kehittymistä.

Lumikko suunnittelee ja valmistaa itse lämpötilansäätölaitteensa. Tuotevalikoimaan kuuluu kuorma-auto ja perävaunuratkaisut, erikoistuotteet sekä lisävarusteisiin kuuluvat irtohöyrystimet. Irtohöyrystimien avulla kuormatila voidaan jakaa eri osastoihin kuljetustarpeiden muuttuessa. (Lumikko Technologies Oy)

1.2 Työn tavoitteet ja hyödyt

Työssä käydään läpi suunnitteluprosessia, jossa tavoitteena on saada aikaiseksi irtohöyrystintuoteperhe soveltaen mm. tuotteen rakenteen muotoiluperiaatteita, Product Structuring Principles (PSP) ja modulaarisen tuoteperheen suunnitteluteoriaa, Brownfield Process (BfP). Irtohöyrystintuoteperheen tarkoituksena on palvella yrityksen nykyistä ja

suunnittelussa olevaa lämpötilansäätölaitekantaa nykyisen MTE7 irtohöyrystimen lisänä. Pääkoneiden kapasiteetit ja korijakovaihtoehdot huomioidaan suunnittelussa. Laitevariaatiot tutkitaan laskennallisesti ja testaamalla. Pyrkimyksenä oli käyttää yrityksen MTE7 irtohöyrystimestä tuttuja ratkaisuja. Raja-arvoina pidettiin kilpailijoiden laitteiden suorituskykyä, kokoa ja hintaa. Tavoitteena oli suunnitella tehokkaampi, pienempi ja edullisempi irtohöyrystin kuin kilpailijoilla.

1.3 Työn saavutukset

PSP:n suunnitteluperiaatteista hyödynnettiin erilaisten komponenttien tilavarausta sekä mietittiin standardoinnin täyttä hyödyntämistä tuoteperheen osissa ja rajapinnoissa yleisesti. Kaikille osille mietittiin oma paikkansa, jotka toimisivat jokaisessa irtohöyrystimen kokovariantissa. Tilavarauksia mietittäessä haasteeksi tuli lähinnä vanhemman sarjan irtohöyrystimen osien käyttäminen, joista tuli enemmän rajoituksia kuin hyötyjä.

BfP:n merkitys jäi vähemmälle. BfP ei ole alkujaan suunniteltu täysin uuden tuoteperheen suunnittelua varten, vaan liian suureksi kasvaneen tuotevalikoiman rationalisoimiseksi tuoteperheeksi. Nyt laajaa tuotevalikoimaa ei ollut rationalisoitavaksi ja PSP:n käyttö osoitti, että osatasollakaan ei hyödynnettävää juurikaan ollut. BfP toki antoi hyvän tavan ajatella ja lisäsi ymmärrystä mm. modularisoinnista ja rajapintojen merkityksestä tuoteperheessä.

Tätä työtä varten kerätty teoriapohja pyrkii käsittelemään riittävän laajasti tuoteperheen suunnitteluun tarvittavaa tietoutta ja tukee PSP:n periaatteiden parempaa ymmärtämistä sekä BfP:n suunnitteluprosessin haltuunottoa. Esimerkit tuotealustoista, standardoinnista, modularisoinnista ja arkkitehtuurista auttavat yrityksen toimintaa muissa nykyisissä ja tulevaisissa tuotekehityskuvioissa.

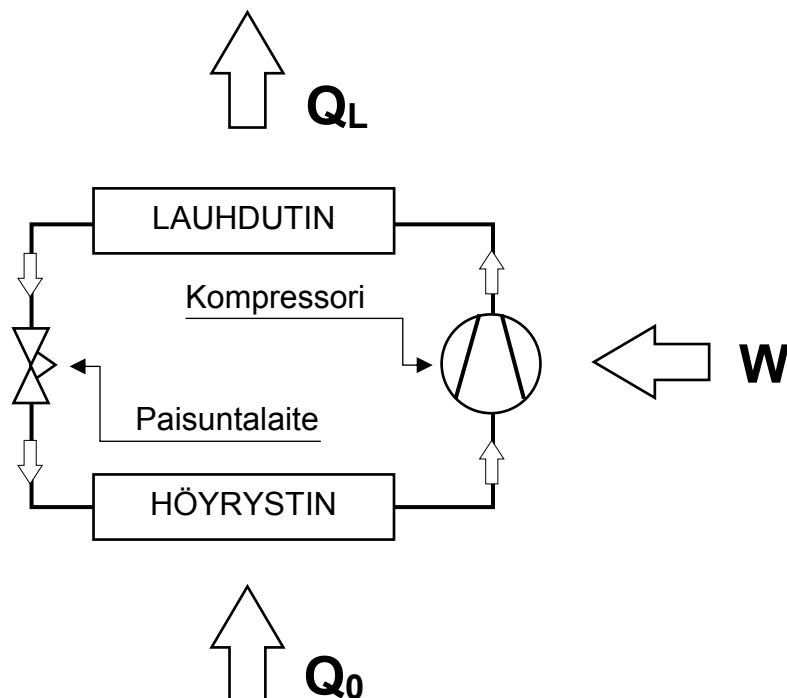
Työn tarkastelun kohteena ollut tuoteperheen leveimmän mallin ensimmäinen irtohöyrystinprototyyppi jäi suorituskyvyltään vain hieman kilpailijoista, mutta koon ja hinnan puolesta se saavutti tavoitteet. Prototyypin perusteella pystyi päättämään tarvittavat toimenpiteet kaikkien tavoitteiden saavuttamiseksi.

2. TYÖN LÄHTÖKOHDAT

2.1 Lämpötilansäätölaitteen toiminta ja höyrystimet

Lämpötilansäätölaitteella tarkoitetaan laitetta, jolla säädellään koritilan lämpötilaa ja ylläpidetään kuljetettavien tuotteiden lämpötila haluttuna joko lämmittämällä tai jäähdyttämällä koritilaa. Lämpötilansäätölaitteet suunnitellaan jäähdytys- ja lämmityskapasiteeteiltaan riittäviksi pitämään vallitsevat lämpötilaolosuhteet koritilassa. Laite ei sovellu kuljetettavien tuotteiden lämmittämiseen tai jäähdyttämiseen. Siksi lämpötilasäädelyjen kuljetusten tuotteet pitää olla kuljetuslämpötilassa koritilaan tuotaessa. Tyhjä koritilat säädellään oikeaan lämpötilaan ennen tuotteiden lastaamista. Lämpötilansäätölaitteiden suunnitellut kapasiteetit eivät riitä tuotteiden lämpötilan riittävän nopeaan muuttamiseen, koska yleensä tuotteiden massa on niin valtava, ettei riittävä lämpötilan muutos ole normaalin kuljetusaikojen puitteissa mahdollista.

Lämpötilansäätölaitteella jäähdytys perustuu kiertoprosessiin, jossa koneistossa kiertävä kylmäaine höyrystyy ja lauhtuu. Kuvassa 2 on kylmäkoneiston pääkomponentit: höyrystin, kompressori, lauhdutin ja paisuntalaite, joka usein on paisuntaventtiili.



Kuva 2. Kylmäkoneisto

Höyrystimessä kylmäaine höyrystyy ympäristöä matalammassa lämpötilassa sitoen lämpöä ympäristöstä. Kompressori imee matalapaineeseen kylmäainehöyryn ja puristaa

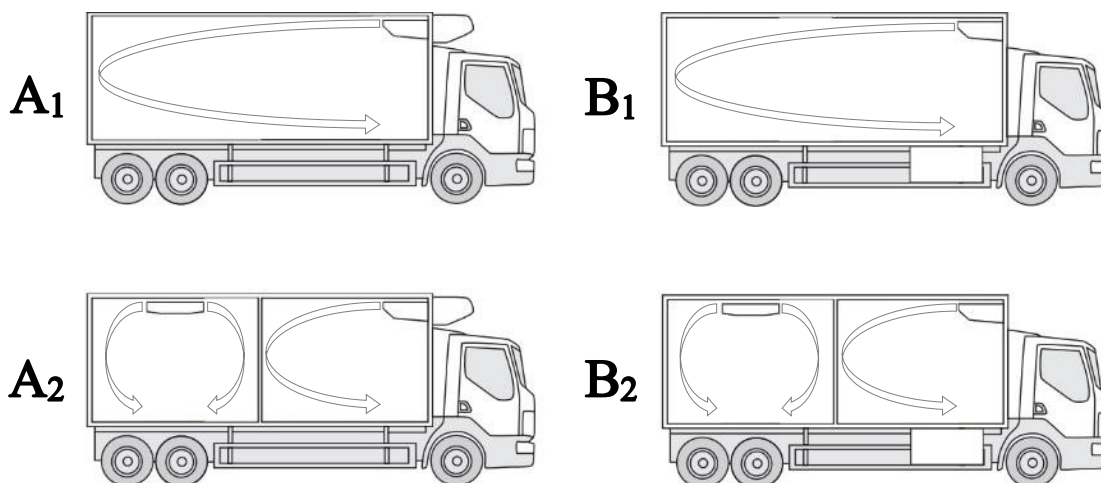
sen korkeampaan paineeseen, ja samalla höyryn lämpötila kohoaa. Lauhduttimessa ympäristöä korkeammassa lämpötilassa oleva höyry nesteytyy eli lauhtuu luovuttaen lämpöä ympäristöön. Paisuntalaitteessa nestemäinen kylmäaineen paine laskee, jolloin neste muuttuu neste-höyryseokseksi ja samalla seosten lämpötila laskee. Lauhdutin luovuttaa lämpöä Q_L joka vastaa höyrystimen sitomaa lämpöä Q_0 ja kompressorin tekemään työtä W . Muutama prosentti lämmöstä siirtyy ympäristöön kompressorin ja paineputken kautta. (Hakala & Kaappola 2007)

Lämpötilansäätölaitteella lämmitys tapahtuu sähkövastuksin ja/tai kylmäkiertoon päästettävän kuumakaasun avulla. Lämmitetty ilma puhalletaan höyrystimen läpi koritilaan. Sähkövastukset ovat asennettuna höyrystimeen sisälle tai pintaan. Sähkövastuksilla hoidetaan myös kennon sulatus sen jäätyessä. Kuumakaasulla tarkoitetaan kompressorin korkeampaan paineeseen puristettua kaasua, joka ennen lauhdutinta esim. magneettiventtiilillä ohjataan höyrystimelle lämmitystarkoituksessa. Kuumakaasulla voidaan myös sulattaa tarvittaessa jäätynyttä kennoa. Lämmitykseen voidaan käyttää myös vesikiertoista kennoa höyrystimen vieressä tai siihen integroituna. Lämpötilansäätölaitteissa lämmintä vettä tai pikemminkin glykolia saadaan kompressorin pyörittävän dieselmoottorin jäähdyttimen jäähdytinainekierrosta.

Lämpötilansäätölaitteissa lauhdutin ja kompressorin ovat koritilan ulkopuolella, paisuntaventtiili ja höyrystin koritilan sisäpuolella. Pääsääntöisesti kylmä tehdään koritilaan lämpötilansäätölaitteeseen kiinteästi asennetulla höyrystimellä, joka on joko ulkoinen tai sisäinen. Ulkoisella höyrystimellä (joka on koritilan sisällä, mutta ulkona itse laitteen rungosta) saadaan aikaiseksi enemmän jäähdytystehoa kuin sisäisellä höyrystimellä (sisäinen on mahdutettu laitteen rungon sisään) johtuen yksinkertaisesti höyrystimen koosta. Toisaalta ulkoinen höyrystin vie enemmän koritilaa ja vaikuttaa näin kuljetuskapasiteettiin, jolloin sisäisen höyrystimen kone kapasiteetin riittäessä on parempi vaihtoehto koritilaa säästämällä. Pääkoneen höyrystin voidaan myös toteuttaa irtohöyrystimellä. Irtohöyrystin on oma itsenäinen höyrystin, joka ei toimi ilman pääkoneen koritilan kylmennyksessä. Pääsääntöisesti irtohöyrystimiä käytetään vain pääkoneen höyrystimen lisäksi omassa koritilaan jaetussa osastossaan. Irtohöyrystimillä pystytään toteuttamaan koritilojen jäähdytys riippumatta pääkoneen sijainnista.

Kuvassa 3 on höyrystimien sijoitusvaihtoehtoja. Kuorma-autossa 'A1' on vetoautoratkaisu eli ns. nuppikone. Sen höyrystin on pääkoneessa kiinteästi asennettuna. Kuorma-autossa 'A2' tilanne on vastaava, mutta kori on jaettu kahteen osaan ja takana toisessa koritilassa toimii irtohöyrystin lämpötilansäätölaitteena. Kuorma-autossa 'B1' pääkone on sijoitettu rungon alle ja sen ainoa irtohöyrystin on sijoitettu korin etureunaan. Kuorma-autossa 'B2' tilanne on vastaava, mutta kori on jaettu kahteen osaan ja takana toimii irtohöyrystin lämpötilansäätölaitteena. Kuorma-autoissa 'B1' ja 'B2' ei pääkoneella ole siis kiinteää höyrystintä vaan se voidaan valita korin lämpötilansäätötarpeen riippuen pääkoneen kapasiteetista. Vastaavasti perävaunuratkaisuissa pääkoneen kanssa voidaan käyttää irtohöyrystintä pääkoneen

höyrystimen lisäksi. Perävaunukoneet ovat nuppikoneista poiketen sijoitettu perävaunun koko etuseinään ja ovat kapasiteetiltaan pääsääntöisesti suurempia.



Kuva 3. Höyrystimien sijoitusvaihtoehtoja kuorma-autossa

Koritilat voidaan jakaa pitkittäin tai poikittain riippuen kuljetustarpeesta ja maakohtaisista tottumuksista. Tarve koritilojen jaolle tulee, kun kuljetetaan samalla kuljetusyksiköllä esimerkiksi tuore-elintarvikkeita ja pakastetuotteita tai kuivatavaraa ja pakastetuotteita. Suurimmillaan koritilojen välinen lämpötila ero voi olla yli 30 astetta celsiusta. Eri kuljetuslämpötiloja vaativien tavaroiden yhtäaikainen kuljetustapa on hyvin normaalia päivittäistavarakaupan puolella, koska tavaramäärät eivät välttämättä ole pienissä kaupoissa suuria ja on edullisempaa tuoda tavarat yhdellä kuljetuksella kuin monella erillisellä. Kuljetusmäärät esimerkiksi pakastetavaralle voivat olla niin pieniä, että on kannattavaa hankkia monilämpöinen koritila, jolloin asiakaskunta kuljetusyrittäjällä laajenee ja kuljetuskyky monipuolistuu. Koska koritilojen väliseiniät eivät ole useinkaan kiinteitä niin samalla kuljetusyksiköllä voidaan kuljettaa monenlaista tavaraa seiniä siirtämällä tai kokonaan poistamalla. (Koritehtaat Haastattelu 12.6.2017)

Maakohtaisesti tarkasteltuna Suomessa ajetaan paljon runkoajoja suurilla kuljetusyksiköillä, pitkien välimatkojen johdosta. Mahdollinen tavarankuljetuksen jakelu tapahtuu esimerkiksi Eurooppaan verrattuna verraten suurella kalustolla ja jotta koritila palvelee monta kuljetustarvetta, on Suomessa tapana jakaa kori useimmiten ajosuuntaan nähden poikittain. Tällöin esimerkiksi etummainen osasto voi toimia pakastekuljetuksissa ja takimmainen joko tuore tai kuiva-ainekuljetuksissa. Ja koska poikittain jaetun korin pystyy useimmiten purkamaan ajoneuvon sivuovista, palvelee kori myös esimerkiksi pitkien rakennustarvikkeiden kuljettamisessa samalla ajoneuvolla. Hyvin yleistä Suomessa on myös rajata kylmäkuljetuksille vain yhden lavan kokoinen kulmaus koritilan takaa, kun kuljetustarve on pieni. Tällöin käytetään MTE7:n kokoisia irtohöyrystimisiä. (Koritehtaat Haastattelu 12.6.2017)

Ruotsissa ja Norjassa on yleinen tapa jakaa kori pitkittäin. Se jaetaan joko kolmeen yhtä leveään osaan tai suhteessa 1/3 – 2/3. Koritilat ovat sisämitaltaan yleisimmin 2500 mm

leveitä. Jaettaessa tämä tila kolmeen osastoon n. 50 mm väliseinällä jää tilan leveydeksi 800 mm. Tästä johtuen pienin irtohöyrystin suurimmillaan ei saisi olla paljoa yli 700 mm:ä. Laite vaatii asennuksena aina kylmäaineputket sekä tippavesikaukalon tyhjennysputken, jotka vievät tilaa. Tästä syystä tätä leveämmät laitteet on vaikea asentaa. Vain yhtä pitkittäistä tilaa käytettäessä paljon rullakoiden kuljettamiseen ja tällöin yli 700 mm leveät tilat ovat yleensä tilan tuhlaamista. Erot Suomen ja Ruotsin sekä Norjan välillä johtuvat yleisesti tavasta, miten koritilat lastataan ja puretaan. Ruotsissa ja Norjassa pitkittäin jaetut tilat palvelevat siinä tilanteessa hyvin, kun kuljetetaan paljon tavaraa rullakoissa. Suomessa kuljetetaan tavaroita enemmän lavoilla. (Koritehtaat Haastattelu 12.6.2017)

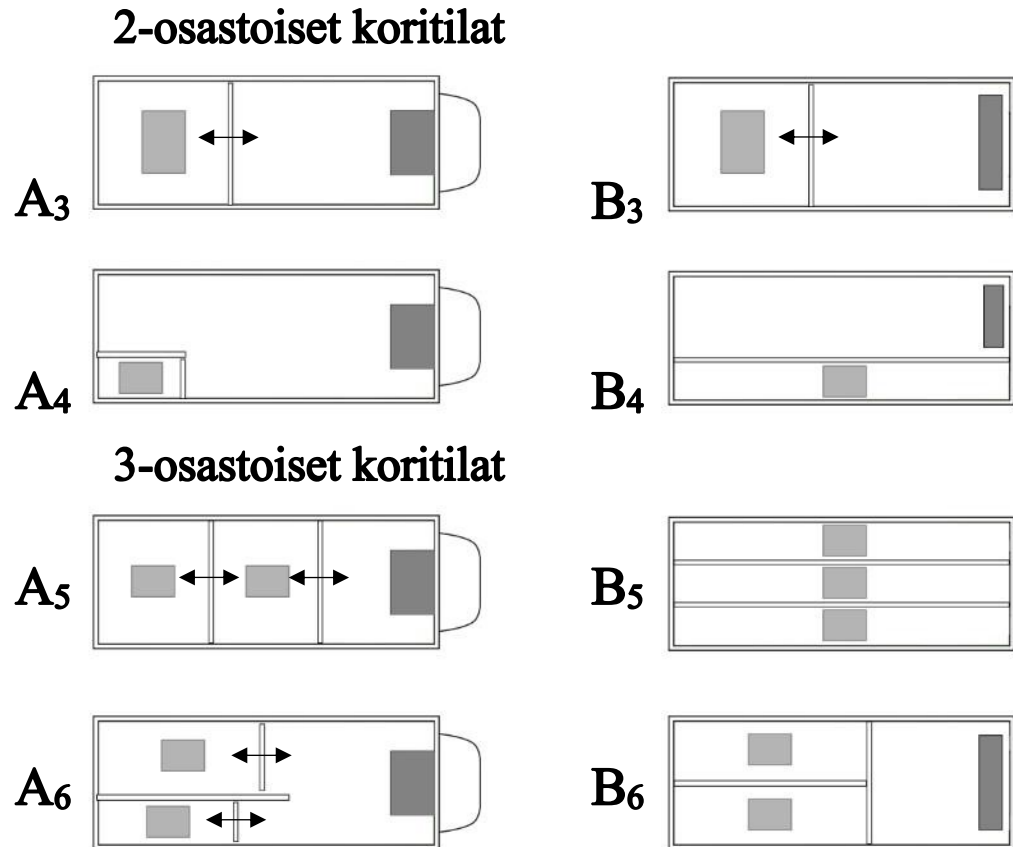
ATP¹-kuljetusvälineet luokitellaan korin eristyskyvyn mukaan. Eristyskykyä kuvataan korin keskimääräisellä k-arvolla, jolla tarkoitetaan jokaista neliometriä kohden siirtynyttä lämpötehoa. Keskimääräisen k-arvon perusteella voidaan laskea lämpövuoto. Eristyskyvyn perusteella jaetaan korit normaalieristeisiin IN-luokan ja raskaseristeisiin IR-luokan koreihin. IR-luokan korin keskimääräinen k-arvo saa olla korkeintaan 0,40 W/m²K. Esimerkiksi ns. pakkaskoriksi luokitellaan koneellisesti jäähdytetty raskaseristeinen IR-luokan kuljetusväline, joka saa merkinnän FRC. Tällaisessa kuljetusvälineessä voidaan ylläpitää mitä tahansa -20 °C ja +12 °C asteen välistä lämpötilaa. Vain raskaseristeinen kori voidaan luokitella pakastekuljetuksiin soveltuviin ATP-luokkiin eikä lämpötilansäätölaitteella voida parantaa heikosta eristyksestä johtuvaa luokittelua. (Kylmäketju)

Tarkan luokittelun takia koritilojen siirrettävien väliseinien hyvän tiiveyden saavuttaminen on haastavaa. Varsinkin poikittain jaetusta korista avautuu yleensä koko koritilan kokoiset ovet. Niiden tiiveys on tärkeää, jotta kori saadaan luokiteltua FRC-luokkaan. Korin luokittelu on edellytyksenä sille, että kuljetusyritys voi pakastetuotteita kuljettaa. Koritilojen jakaminen tapahtuu useimmiten kahteen osastoon poikittain tai pitkittäin, mutta harvinaisemmat kolmiosastoisetkin vaihtoehdot ovat mahdollisia. Kaikki riippuu missä käytössä osastot ovat ja minkälainen pääkoneen kapasiteetti on niin jäähdytyksen kuin lämmityksenkin suhteen.

Kuvassa 4 on kuvattu mahdollisia korijakovaihtoehtoja. 'A' kuvat ovat nuppikoneen ja 'B' kuvat rungonaluskoneen korijakovaihtoehtoja. Päähöyrystin on tumman harmaana ja irtohöyrystin vaalean harmaana. Koritilat jaetaan yleisemmin kahteen osastoon. 'A3' ja 'B3' ovat poikittain jaettuja koritiloja. Poikittaista väliseinää voidaan tarvittaessa liikuttaa pitkittäin tilatarpeen mukaan. Rajoittavana tekijänä on vain irtohöyrystimen paikka ja sivuovien aukot. 'A4' on korin jakotapa yhden lavapaikan pakasteosastolle. Tässä jakotavassa seinät ovat yleensä kiinteästi asennettuna. Pääosasto toimii viileä- tai lämminkoritilana. 'B4' on pitkittäin jaettu kori suhteessa 1/3 – 2/3. Tällainen vaihtoehto onnistuu myös, jos käytössä on sisäisellä höyrystimellä varustettu nuppikone, muutoin

¹ kts. kappale 2.4 ja 3.9

nappikoneen ulkoinen höyrystin tulee keskelle koritilaa eikä tämä jako onnistu. Sisäisen höyrystimen puhallinaukot ovat siis useimmiten vain toisella reunalla korin etuseinää. Korin pitkittäistä jakoseinää pystytään tarvittaessa myös liikuttamaan suuremman höyrystimen sallimissa rajoissa.



Kuva 4. Korijakovaihtoehtoja

Kolmiosastoiset koritilat ovat harvinaisempia, mutta mahdollisia tapoja jakaa koritilat. 'A5' on poikittain jaettu kolmiosastoinen kori, jossa väliseiniä pystyy liikuttamaan tarpeen mukaan. 'B5' on vastaavasti kolmiosastoinen pitkittäin jaettu kori. Tässä vaihtoehdossa höyrystimien paikka voidaan tietysti muuttaa joko etu- tai takareunaan riippuen pääkoneen sijoittelusta. 'A6' ja 'B6' ovat monipuolisia vaihtoehtoja koritilan jakamiseen, mutta tarve tällaiselle voi olla vähäinen.

2.2 Suunnittelun lähtökohdat

Työn lähtökohtana on suunnitella irtohöyrystintuoteperhe palvelemaan Lumikko Technologies Oy:n nykyistä ja suunnittelussa olevaa laitekantaa nykyisen MTE7 irtohöyrystimen lisäksi. MTE7 on 700 mm leveä ja 4 kilowatin teholuokkaan lukeutuva kahteen suuntaan puhaltava irtohöyrystin, joka palvelee pienten koritilojen jäähdyttämistä ja lämmittämistarkoituksissa (Kuva 5). Lämmitysteho tällä irtohöyrystimellä on 3 kW.

Alustavasti oli tarkoitus suunnitella kokoluokaltaan kaksi ja kolme kertaa suuremmat MTE14 ja MTE22 irtohöyrystimet eli noin 1400 mm ja 2200 mm leveät kahteen suuntaan puhaltavat irtohöyrystimet moniosastokäyttöön nuppi-, perävaunu- ja rungonaluskonekäyttöön. Kolmella erikokoisella irtohöyrystimellä oli tarkoitus kattaa kaikki mahdolliset korijakovaihtoehdot, joita asiakkaat mahdollisesti tarvitsevat lämpötilasäädellyissä kuljetuksissaan.



Kuva 5. Irtohöyrystin MTE7 (Lumikko Technologies Oy)

2.3 Suunnittelun tarve

Suunnitteluprosessin alussa tarkennettiin irtohöyrystintarvetta ja suunnittelun pohjaksi muotoutui yhteen suuntaan puhaltava noin 2000 mm leveä 6 kW teholuokan irtohöyrystin. Irtohöyrystin ajateltiin suunniteltavan niin, että se toimisi pohjana myös kahdelle pienemmälle noin 1400 mm leveälle 4 kW teholuokan ja 700 mm leveälle 2 kW teholuokan yhteen suuntaan puhaltaville irtohöyrystimille sekä 1400 mm leveälle 8 kW teholuokan kahteen suuntaan puhaltavalle irtohöyrystimelle.

2.4 Suunnittelun rajaukset

Suunnittelun huomiona ovat pääkoneiden kapasiteetit ja korijakovaihtoehdot helpottamaan myös oikean laiteratkaisun tarjoamista asiakkaille. Laitevariaatiot ajateltiin tutkia laskennallisesti ja testaamalla irtohöyrystinprototyypit. Pyrkimyksenä oli käyttää MTE7:sta tuttuja ratkaisuja ja mahdollisesti samoja komponentteja kustannusten minimoimiseksi. Raja-arvoina pidettiin kilpailijoiden laitteiden suorituskykyä, kokoa ja hintaa.

Suunnittelussa oli tarkoitus miettiä myös kuumakaasusulatuksen käyttöä vastussulatuksen sijaan. Suunnittelussa otettiin huomioon alati muuttuva helposti pilaantuvien elintarvikkeiden kansainvälisiä kuljetuksia ja tällaisissa kuljetuksissa käytettävää erityiskalustoa koskeva sopimus eli ranskaksi **Accord relatif aux Transports internationaux de denrées Périssables et aux engins spéciaux a utiliser pour ces transports** (ATP) ja kylmäaineiden pienentyneet kasvihuonehaitallisuusarvot eli **Global Warming Potential** (GWP). Suunnittelun tukena toimivat tuotteen rakenteen muotoiluperiaatteet eli **Product Structuring Principles** (PSP) sekä modulaarisen tuoteperheen suunnitteluteoria **Brownfield Process** (BfP).

2.5 Tavoitteet ja onnistumisen mittarit

Työ pyrkii vastaamaan suorituskyky, koko- ja hintarajatavoitteisiin, hyödyntämään em. suunnitteluteorioita ja aikaansaamaan yritykselle irtohöyrystintuoteperhe, joka palvelee nykyistä laitekantaa. Tarkastelupisteenä toimi tuoteperheen leveimmän mallin ensimmäinen irtohöyrystinprototyyppi, jonka testien jälkeen pystytään suunnittelemaan mahdolliset muutostarpeet tavoitteiden saavuttamisen takaamiseksi. Tavoitteena oli suunnitella tehokkaampi, pienempi ja edullisempi irtohöyrystin kuin kilpailijoilla.

3. TUTKIMUSMENETELMÄT JA AINEISTO

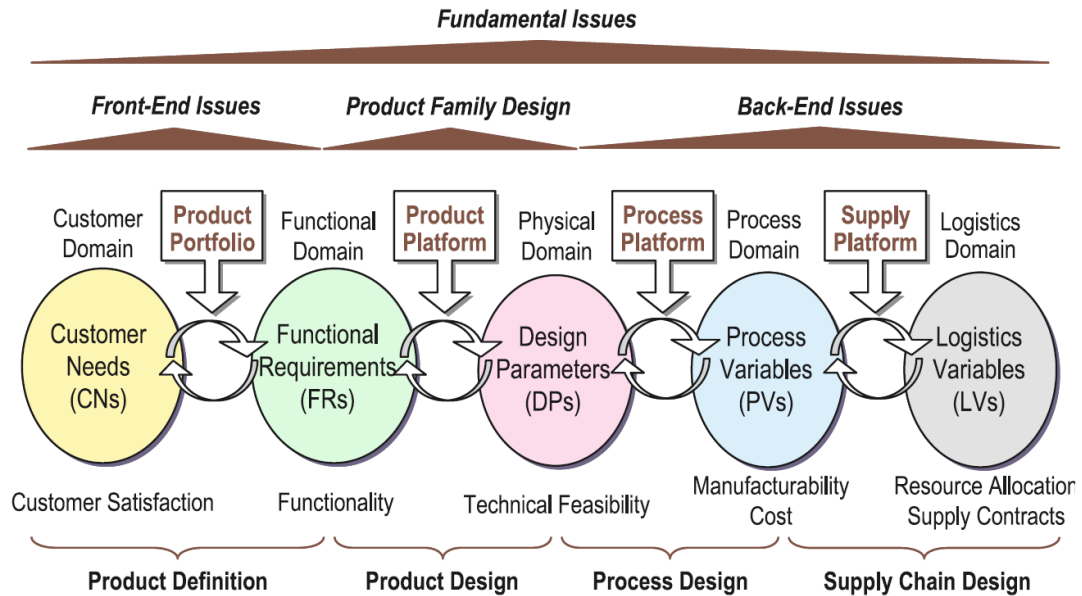
Irtohöyrystintuoteperheen suunnittelua varten tutkittiin useita suunnitteluteorioita. Työssä käytettiin pääasiassa PSP muotoiluperiaatteita ja BfP teoriaa suunnittelun tukena.

3.1 Tuoteperhe- ja alustasuunnittelu

Tuoteperhesuunnittelu ja alustapohjainen (engl. platform-based) tuotekehitys on viime vuosikymmenen aikana saavuttanut suosiota (Jiao et al. 2007). Valmistava teollisuus on omistautunut nykyaikaiselle taistelukentälle nimeltään massakustomointi, joka tähtää yksittäisen asiakkaan tarpeiden tyydyttämiseen lyhytvälisillä tuotejulkaisuilla massatuotantoon hyödyntämällä (Pine 1993). Pärjätäkseen markkinoilla valmistajat ovat etsineet laajennusta tuotantolinjoilleen ja variaatioita tuotteilleen sillä uskolla, että suuri tuotevariaatio saattaa kehittää myyntiä ja luoda lisää liikevaihtoa (Ho & Tang 1998). Myynti toki lisääntyy, kun tarjonta tulee houkuttelevammaksi, mutta variaatiot kasvavat ja pienenevän tuoton laki johtaa siihen, ettei edut pysy lisääntyneen myynnin tahdissa (Wortmann et al. 1997). Tässä tilanteessa yrityksen pitää optimoida sen ulkoiset variaatiot sisäisten monimuotoisuuksien suhteen, joka siis johtuu tuotteen erilaistumisesta (Tseng & Jiao 1996). (kts. Jiao et al. 2007)

Tuoteperhesuunnittelu on tunnustettu tehokkaaksi tavaksi saada mittakaavaetua, että pystytään mukautumaan suurenevaan tuotevalikoimaan eri markkinaraoissa (Meyer & Utterback 1993; Sundgren 1999). Hyväksi havaittuja elementtejä uudelleenkäyttämällä tuoteperhesuunnittelu voi tarjota monia etuja, kuten tuotekehitysriskien ja monimutkaisuuden vähentämistä, parantuneita tuotteen päivittämismahdollisuuksia, parantunutta joustavuutta ja tuotantoprosessin parantunutta reagointikykyä (Sawhney 1998). Monet yritykset investoivat tuoteperhesuunnitteluun ja -tuotekehitykseen tarjotakseen riittävän valikoiman markkinoille säilyttämällä samalla mittakaavaedun tuotannossaan (Robertson & Ulrich 1998). (kts. Jiao et al. 2007)

Kuva 6 esittää tuoteperhesuunnittelun päätöksentekopuitteet tuotetoteuman koko kirjolla suunnittelumäärittelyjoukon mukaisesti (Suh 2001). Kokonaisvaltaisen kuvan perusteella tuoteperhesuunnittelu kattaa peräkkäin viisi määrittelyjoukkoa: asiakas-, toiminnallinen, fyysinen, prosessi ja logistinen määrittelyjoukko. Tuoteperhesuunnittelussa päätöksenteko sisältyy useaan ”mitä-miten” kartoitukseen näiden määrittelyjoukkojen välillä (Jiao et al. 2007).



Kuva 6. Kokonaisvaltainen näkymä tuoteperhesuunnittelusta ja -tuotekehityksestä (Suh 2001)

Tuoteperhesuunnittelun alussa on asiakasmäärittelyjoukko, jossa määritellään asiakastarpeet (engl. customer needs (CNs)). Asiakasmäärittelyjoukko edustaa markkinasegmenttiä, joka vaatii tuoteperheitä ja joka laukaisee alaspäin tuoteperhesuunnittelun kartoituksen peräkkäisillä vaiheillaan. Asiakastarpeet muuntuvat toiminnallisiksi vaatimuksiksi (engl. functional requirements (FRs)) toimintamäärittelyjoukossa. Tässä suunnittelijat ottavat huomioon suunnittelumääritteet ja kehittävät näistä vaatimuksista saatavilla olevalla tuoteteknologialla. Tuoteperhesuunnitteluratkaisut luovat fyysisen määrittelyjoukon kartoittamalla toiminnalliset vaatimukset suunnitteluparametreiksi (engl. design parameters (DPs)), jotka perustuvat jaettuun tuotealustaan. Päätaavoite alustapohjaisella tuoteperhesuunnittelulla on tekninen toteutettavuus täyttämään tietyt toiminnalliset määritteet. Tuoteperhesuunnittelun loppuun tulee prosessimäärittelyjoukko (engl. process variables (PVs)) ja logistiikkamäärittelyjoukko (engl. logistics variables (LVs)). Suunnitteluparametrien kartoitus prosessimäärittelyjoukoksi sisältää prosessisuunnittelutehtävän, jossa pitää tulla valmistus- ja tuotantosuunnitelma nykyiselle tuotantokapasiteetille ja hyödyntää toistoa työkaluvalinnoissa, asetuksissa, varusteissa, linjastosuunnittelussa jne. Vastaavasti kuten tuotealustaa, tuotantoprosessi voidaan organisoida tuotantoalustaksi ja standardoida se linjastoksi. Tämä helpottaa tuotantokonfiguraatiota monipuolisissa tuoteperheratkaisuissa. (Jiao et al. 2000)

3.1.1 Tuoteperhe

Simpson *et al.* (2005) sekä Meyer ja Lehnerd (1997) määrittelevät tuoteperheen ryhmäksi tai sarjaksi samanlaisia tuotteita, jotka perustuvat samaan jaettuun tuotealustaan

massakustomoinnin helpottamiseksi. Tuotealusta omaa tietyt ominaisuudet ja toiminnallisuudet vastatakseen tiettyihin asiakastarpeisiin. Tuoteperheen avulla varioituja tuotteita voidaan tarjota monille markkinasegmenteille kustannustehokkaasti. (kts. Jiao et al. 2007; Jiao et al. 2014).

Jokaista yksittäistä tuotetta tuoteperheessä, eli perheenjäsentä, kutsutaan tuotevariantiksi tai ilmentymäksi. Tuoteperhe kohdistuu tietylle markkinasegmentille ja jokainen tuotevariantti suunnitellaan kattamaan tietyt asiakastarpeet markkinasegmentissään. Kaikki tuotevariantit jakavat joitain yhteneviä rakenteita ja tuoteteknologioita, jotka muodostavat alustan tuoteperheelle (Erens & Verhulst 1997). Jos tuoteperhettä ei ole määritelty voivat yksittäiset tuotteet, joita yritykset valmistavat lopulta ajatella kehittyvän ennen pitkään tuotteiden perheiksi (Meyer & Utterback 1993). (kts. Jiao et al. 2007)

Sähkötyökaluvalmistaja Ryobi toimii hyvänä esimerkkinä yhtenä tuoteperheen ilmentymistä. Ryobi valmistaa yli 100 uniikkia tuotetta, joissa käytetään 18V ONE+ akkua (Kuva 7). Akkua on käytetty valmistetuissa laitteissa vuodesta 1996 alkaen (Ryobi). Voidaan ajatella laitteiden alustana toimivan akun tartuntapidike, joka toimii rajapintana tuotteen kahdelle osalle, akulle ja sähkölaitteelle. Osat yhdistämällä saadaan toimilaite esimerkiksi akkuporakone tai akkusiimaleikkuri.



Kuva 7. Ryobi ONE+ työkalusarja (Netrauta)

Tulkinta tuoteperheestä riippuu kuitenkin eri näkökulmista. Myynnin ja markkinoinnin näkökulmasta toiminnallinen rakenne tuoteperheelle näyttelee yrityksen tuotelinjaa tai tuoteportfoliota ja joille on tyypillistä erilaiset sarjat toiminnallisia ominaisuuksia eri asiakasryhmille (Agard & Kusiak 2004). Insinöörinäkökulma taas ilmentää tuoteperheen valmistettavuuteen ja siihen liittyviä tuoteteknologioita, joista johtuu tyypillisesti eri suunnitteluparametrit, komponentit ja kokoonpano rakenteet (De Lit & Delchambre 2003; Simpson 2004). (kts. Jiao et al. 2007)

Tyypillisesti tuoteperhe muodostuu tuotteista, jotka jakavat yhteisiä komponentteja ja/tai moduuleja. Yhteisten komponenttien käytöllä on monia etuja (Collier 1981):

1. Mittakaavaedut
2. Lyhentynyt tuotekehitysaika
3. Vähentynyt nimikemäärä
4. Valmistuksen ja huollon yksinkertaistuminen
5. Laadun parantuminen pienemmästä tuotevariaatiosta johtuen

Liiketoiminnan kannalta nämä edut voidaan katsoa johtuvan tuotannon parantuneeseen kannattavuuteen. Näitä etuja kuitenkin kannattaa punnita tarkoin mahdollisten huonojen puolien valossa. (kts. Jiao et al. 2014)

Tuoteperheen menestys perustuu siihen miten hyvin taloudellisten hyötyjen ja suorituskäytösten odottamattomat puolet on huomioitu tuotealustan hallinnassa. Hyvin määritelty alusta alentaa tuotantokustannuksia vähentyneiden käytössä olevien komponenttien määrän johdosta (Simpson et al. 2005; Moon et al. 2008). (kts. Jiao et al. 2014)

3.1.2 Tuotealusta

On olemassa kaksi vallitsevaa tutkimussuuntausta tuotealustatuotekehityksessä. Yksi näkökulma kehittää tuotealustaa on ajatella se fyysiseksi alustaksi, nimelliseksi kokoelmaksi elementtejä, joita jakaa useampi tuote. Tässä näkökulmassa on haasteellista miettiä miten ilmentää yhteiset nimittäjät usealle tuotteelle (Wilhelm 1997; Ericsson & Erixon 1999). Pyrkimys onkin ollut poistaa nämä yhteiset nimittäjät, ominaisuudet ja/tai osajärjestelmät jotka ovat vakaita ja hyvin ymmärrettyjä, jotta perustana olisi lisäarvoa lisäävät ominaisuudet (Moore et al. 1999). (kts. Jiao et al. 2007)

Meyerin ja Lehnerdin (1997) työ edustaa toista dominoivaa näkökulmaa tuotealustasta. Heidän tuotealustan määritelmänään on ”sarja osajärjestelmiä ja rajapintoja yleisen rakenteen muotoon suunniteltuna, josta johdannaistuotteiden virtaa voidaan tehokkaasti suunnitella ja valmistaa”. Suuri ongelma on käyttää hyväkseen jaettua logiikkaa ja yhtenäistä arkkitehtuuria, joka määrittelee tuoteperheen. McGrath (1995) määrittelee tuotealustan kokoelmaksi yleisiä elementtejä erityisesti alleviivaamalla ydin teknologiaa, jota on implementoitu tuotteistossa. Robertson ja Ulrich (1998) määrittelee alustan kokoelmaksi ominaisuuksia, jotka on jaettu tuotejoukon kanssa. Ominaisuudet sisältävät komponentteja, prosesseja, tietotaitoa kuin myös suhdetoiminnan. (kts. Jiao et al. 2007)

Baldwin & Clark (2000) määrittelevät tuotealustoista kolme näkökohtaa:

1. Modulaarinen arkkitehtuuri
2. Rajapinnat
3. Standardit, jotka tarjoavat suunnittelusäännöt mihin moduulien pitää mukautua

Helpottaakseen alustapohjaista tuoteperhesuunnittelua, rajapintojen hallinta kirjataan erilliseksi prosessiksi, kun määritellään fyysisiä rajapintoja osajärjestelmien välillä (Sundgren 1999). Zamirowski ja Otto (1999) erottavat kolme eri tyyppistä tuotealustaa

toisistaan: modulaarinen alusta, skaalattava alusta, sukupolveutuva alusta. Modulaarista alustaa käytetään luomaan variantteja olemassa olevien varianttien konfiguraation kautta (Meyer & Lehnerd 1997). Skaalattava alusta helpottaa varianttien erilaistumista jotka omaavat samat toiminnot eri suorituskyvyillä (Simpson et al. 2001). Modulaarisuudesta enemmän kappaleessa 3.3. Sukupolveutuva alusta vaikuttaa tuotteen elinkaareen nopealla seuraavan sukupolven tuotekehityksellä (Martin & Ishii 2002). Yksi tapa lähestyä kohti tuotealustasuunnittelua on suunnitella tuoteperhe siten, että se on ”venytettävissä” tai ”skaalattavissa” (Rothwell & Gardiner 1990). (kts. Jiao et al. 2007)

3.2 Standardointi

Tuoteperhesuunnittelussa on hyvä miettiä standardointia. Komponenttien standardoinnilla on monia etuja, joita pystynee soveltamaan osien, rajapintojen, suunnittelutapojen jne. standardointiin, jolloin toki puhutaan jo prosesseista.

Komponenttien standardoinnin määrittelee Pereran *et al.* (1999) seuraavasti (vapaasti suomennettuna): ”Standardointi viittaa tilanteeseen, missä useampi komponentti on korvattu yhdellä, joka sisältää kaikkien toiminnot”. Määritelmän takaa löytyy kolme mahdollista tilannetta standardoida komponentti:

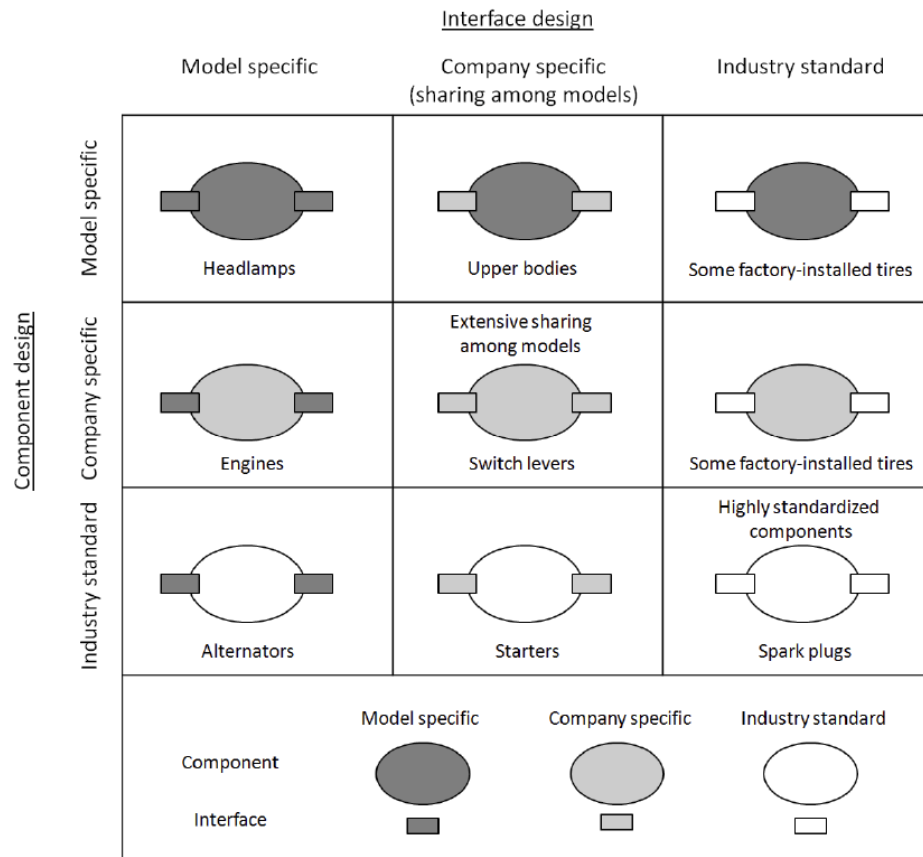
1. Komponentti standardointi tuotteessa: Tuotteen useampi uniikki komponentti on korvattu yhteiskomponentilla.
2. Komponenttien standardointi tuotteiden joukossa/välillä: Useampi uniikki komponentti on korvattu yhteiskomponentilla eri tuotteissa
3. Komponentti standardointi tuotesukupolvissa: Yhteiskomponenttia on käytetty eri tuotteissa tai päivitettyissä tuotteissa tietyn ajan sisällä

Standardointia voi tulla kansainvälisistä, kansallisista, teollisista tai yrityksen sisäisistä sopimuksista tai markkinatottumuksista. Standardi- ja standardoitu tuote erotellaan toisistaan. Standardi osa on kansainvälisten ja kansallisten sopimusten tuloksia, standardoitu osa on muiden menettelyjen tuloksia. Samanlaisten systeemien tai tuoteperheiden järjeistäminen niukkalukuisemmaksi on todettu trendiksi, mikä sallii suuremmat valmistusmäärät. Tähtäimenä sanotaan olevan talon sisällä suunniteltujen tuotteiden tarpeen eliminointi ja että uusien tuotteiden suunnittelussa pitäisi tarkkailla kaikenlaisten uusien elementtien määrää (Hubka & Eder 1998).

Fujimoto (2007) määrittelee tuotearkkitehtuurin kuvaukseksi sen, miten osat on yhdistetty toisiinsa. Tämä on osana keskustelua eheyden tason mittaamisesta tai modulaarisuudesta tuotearkkitehtuurissa. Fujimoton oletuksen mukaan tuotteet on tehty perussysteemistä (engl. basic system), alisysteemeistä (engl. sub-systems) ja eri määrästä osia. Päämääränä on analysoida jokainen toiminnallinen osa ja luokitella ne seuraaviin kategorioihin:

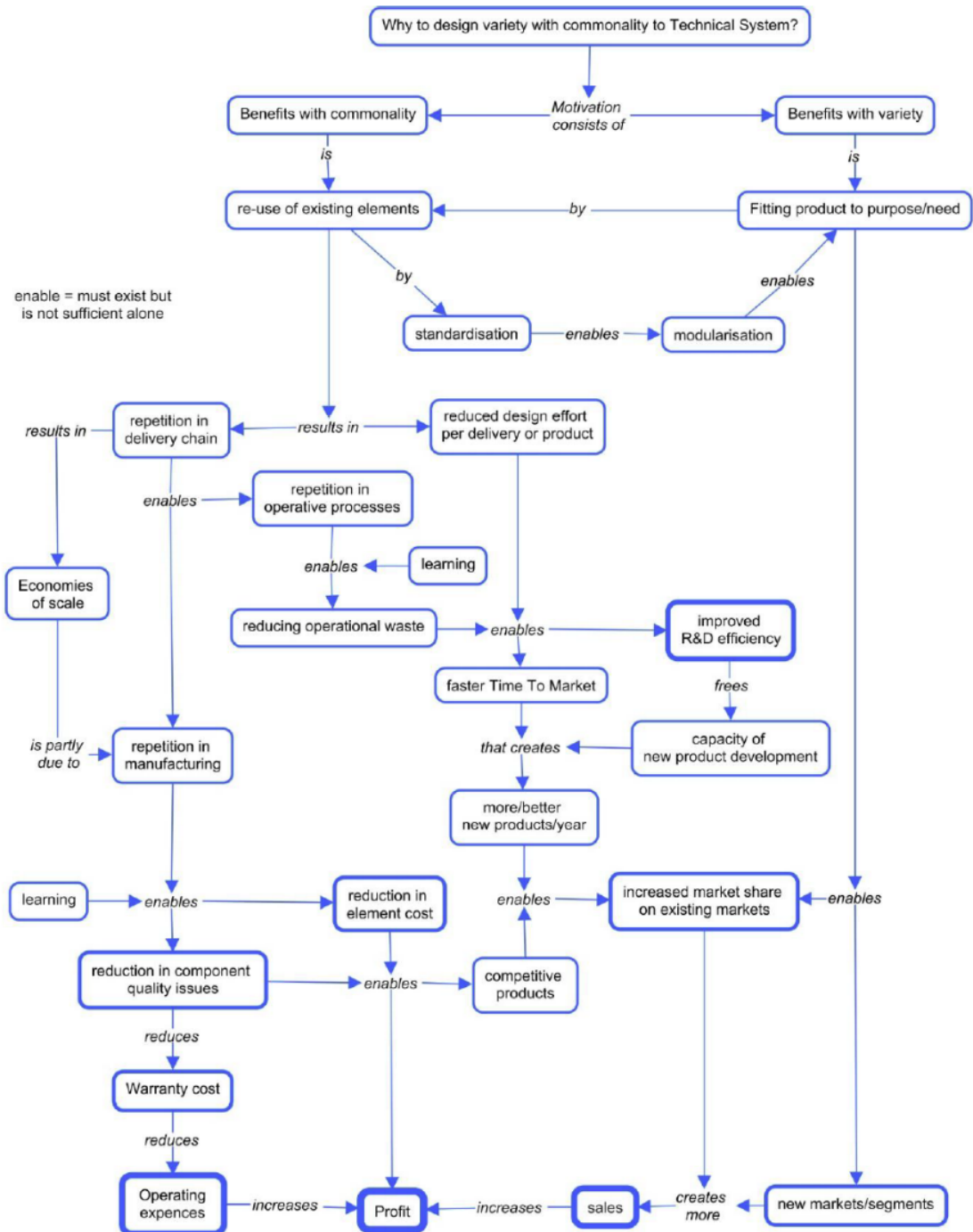
- Mallikohtainen: suunniteltu käytettäväksi vain yksittäisessä tuoteperheessä
- Yrityskohtainen: suunniteltu käytettäväksi monissa saman yrityksen malleissa
- Teollisuusstandardi: käytetään monissa eri yritysten malleissa

Luokittelu on tehty erillään toiminnallisista komponenteista ja rajapintakomponenteista. Viimeisin sisältää komponentit, joita käytetään toimintojen linkittämiseen koko tuotearkkitehtuurissa. Kuvassa 8 on esimerkki henkilöautoteollisuudesta. Osien luokittelua voidaan käyttää esimerkiksi teollisuusstandardiosien lukumäärän määrittämiseen tuotteessa (Fujimoto 2007). (kts. Pakkanen 2015)



Kuva 8. Esimerkki teollisuus-, yritys- ja mallikohtaisesta standardikomponentista ja niiden rajapinnoista autoteollisuudesta (Fujimoto 2007)

Standardointitaso perustuu koneryhmien, alikokoonpanojen, komponenttien ja osien kategorisointiin (Hubka & Eder 1998; Fujimoto 2007). Standardoinnin tason mittaamista tarvitaan siihen mitä korkeamman tason standardointia halutaan saada saavuttaa (Wacker & Treleven 1986). Tällainen mittaaminen voi motivoida yritystä löytämään enemmän yhtenäisyyttä tuotteissaan saavuttaakseen parempaa kannattavuutta. Standardointi lisää siis yhtenäisten ominaisuuksien käytön hyötyjä, kuten kustannus- ja resurssisäästöjä.



Kuva 9. Syy-seuraus-kaavion tarkoitus on helpottaa modulaarisen tuoteperheen suunnittelun päämäärien asettamista, kartan on alkujaan esittänyt Juuti (2008).

Kuvan 9 syy-seuraus kaaviossa, jonka Juuti (2008) kehitti, standardointi ja modularisointi esitetään yhtenäisten ominaisuuksien mahdollistajana ja olemassa olevien elementtien uudelleenkäyttäjänä. Uudelleenkäyttö vähentää suunnitteluponnisteluja mikä johtaa suunnittelun tehokkuuteen vapauttamalla lisää kapasiteettia uusien varianttien kehittelyyn. Standardointi mahdollistaa modularisoinnin, mikä varmistaa yrityksen tuotteiden sopivuuden eri asiakastarpeisiin, joka taas avaa uusia markkinoita, lisää myyntiä ja kasvattaa tulosta. (kts. Pakkanen 2015)

Menestyksellinen tuoteperhestrategia riippuu standardoinnista monesta syystä. Ensiksi, joustava valmistaminen, määritelmänä, riippuu siitä, että kaikki osat ovat aina saatavilla missä tahansa käytön vaiheessa, mikä onnistuu vain standardoiduilla osilla. Liian monen erilaisen osan kanssa menee vaikeaksi saada osat mahdutettua työpisteelle ja varmistaa osien saatavuus spontaanisti. Massatuotannossa osien tilaaminen pitäisi perustua ennusteisiin, mikä ei ole joustavaa eikä sen takia tuoteperhesuunnittelua edistävää (Anderson, D. M. 2014).

Toiseksi, saatavuuden takaamiseksi kaikkina käytön hetkinä, jokainen osa pitäisi olla (Anderson, D. M. 2014):

1. Riittävän monikäyttöinen kaikkiin tuoteperheen variaatioihin. Jos tätä monikäyttöisyyttä ei löydy valmiina pitää osat suunnitella ja rakentaa monikäyttöisyyteen. Esimerkiksi valuosat suunniteltaisiin kaikkine ominaisuuksineen, mitä monet tuoteperheen variaatiot tarvitsevat.
2. Riittävän korkealla laatutasolla ja tarkoilla toleransseilla tyydyttääkseen vaativimmat variaatiot tuoteperheessä. Esimerkiksi jos joillakin variaatioilla on tarve 1 % toleranssin vastuksille, tulee siitä standarditoleranssi kaikille vastuksille, huolimatta siitä oliko joillain variaatioilla tarve vain 5 % toleranssin vastuksille.
3. Riittävän hyvällä suorituskyvillä tai kapasiteetilla kaikkien tuoteperheen variaatioita varten. Esimerkiksi jos tuoteperheessä suurimmillaan tarvitaan 100 W virtalähde, niin kaikkien variaatioiden pitää käyttää samaa 100 W virtalähdettä, kuin että yritettäisiin hankkia useampaa alle sadan watin virtalähdettä.
4. Aina valmiina saatavilla, joten jokainen standardoitu osa olisi kaikista saatavimmillaan ehdokkaista, jotka vastaavat tai ylittävät yo. kriteerit.

Kolmanneksi joustavalle valmistukselle pitää olla luotettavat toimittajat ja mahdollisuus saada toimitus jokaiselle joustavan valmistuksen tehtaalle. Tämä onnistuu vain erittäin standardoiduilla osilla (Anderson, D. M. 2014).

Neljänneksi, spontaanisen tuotevalmistuksen tarpeesta, osat pitää toimittaa spontaanisti spontaanisen toimitustekniikoiden tavoilla (avaintekijä tuoteperhestrategiassa on välttää ennusteiden käytön, inventaarion tekemisen, ostotilauksien laatimisen, toimituksen odottamisen, myöhässä olevien osien hoputtamista, tavaran vastaanottamista ja mahdollista tarkastamista, varastointia, osien ryhmittämistä, aikatauluttamista ja jakamista tuotantoon. Spontaanisen toimitusketjun idea on saada standardoidut osat tarpeesta, ilman tätä em. toimintaketjua. Esimerkkinä kiinnitystarvikelaatikot, joita toimittaja täyttää tehtaalla, tai toimittaja joka toimittaa standardoidut osat suoraan linjalle ja huolehtii tuotteiden toimituksen oikea-aikaisuudesta²). Nämä tekniikat toimivat parhaiten standardoiduilla osilla. Tekniikat eivät ole käytännöllisiä, jos kaikki tilattavat osat ovat todella varioituneita (Anderson, D. M. 2014).

² kts. kpl 7: Anderson, D.M. (2008). Built-to-Order and Mass Customization, CIM, Cambria, CA, 512 p.

Viimeisimpänä tuoteperheet hyötyvät standardoinnin kustannustehokkuudesta ja tuoteperheen käyttökelpoisuus voi riippua tehokkuudesta joka sisältää (Anderson, D. M. 2014):

- Paremman vipuvoiman ostoissa sekä volyyymiostojen tuomat säästöt
- Kannustuksen suunnittelijoille käyttää standardiosia, mikä laskee kokonaiskustannuksia, koska materiaaliylijiäämä voi olla 10 % ei standardiosilla.
- Pienentyneestä inventaariokustannuksista
- Vähemmän tavaran vastaanottoa ja vähentynyttä toimitusvaikeuksien aiheuttaa muutoksien hallintaa

Saadakseen realisoitua em. toimien hyödyt pitää kaikki kustannukset määrittää. Suurin osa säästöistä tulee inventaariosta, mikä voi olla 25 % varaston arvosta vuodessa³. Hyvä tuoteperhestrategia yhdistää monia nimikkeitä tuoteperhealustoiksi, joka taas vähentää valmiiden tuotteiden varastoa. Lisäksi jos ”build-to-order” (valmistetaan tilaukseen) periaatteet on saavutettu, niin tuoteperhevariaatiot voidaan valmistaa tilauksesta ilman että mitään valmista tavaraa on varastossa. Myös muita selviä säästöjä on saavutettavissa, kun seuraavat asiat saadaan minimoitua (Anderson, D. M. 2014):

- Asetusajat
- Keskeneräinen tuotanto (KET)
- Materiaaliylijiäämä

Tämän lisäksi standardointi riippuu kokonaiskustannuksista, jotka johtuvat menestyksellinen tuoteperhestrategia määrittämisestä (alkaen s. 16) ja suunnittelijoiden standardoinnin tukemisen varmistamisesta. Parempi monipuolisuus, toleranssit, suorituskky ja saatavuus todennäköisesti nostavat materiaalilinjan ”kustannuksia”, vaikka juuri nämä johtavat paljon suurempaan kokonaiskustannussäästöön alempina nettokustannuksina. Jos kokonaiskustannussäästöjä ei ole määriteltä, alkavat suunnittelijat vastustamaan standardointia, koska se näyttää nostavan näkyvimpiä kustannuksia: osat ja materiaalit (Anderson, D. M. 2014).

Standardointi pyrkii etsimään yhden tuotteen mikä sopii kaikille markkinasektoreille kohtuullisen hyvin. Modularisointi toisaalta luo tuotevalikoiman mikä voidaan suunnitella taloudellisesti, markkinoida ja valmistaa sekä toimittaa vastaamaan mitä tahansa pyydetty segmenttiä niin lähelle kuin mahdollista (Jiao et al. 2014).

3.3 Modularisointi

Moduuli, modularisointi, modulaarisuus, moduuli suunnittelu, jne. (engl. module, modularisation, modularity, modular design...) ovat hyvin tunnettuja termejä teollisuudessa ja yliopistomaailmassa. Sanakirja määrittelee termin **moduuli** (engl. module) ”standardi yksiköksi, yhdisteltäviä vaihdettavia osia tai komponentteja, luokkia

³ kts. kpl 2: Anderson, D.M. (2008). Built-to-Order and Mass Customization, CIM, Cambria, CA, 512 p.

tai numeroita, mikä tahansa sarja standardoituja yksiköitä yhdessä käytettynä, pakattuna yleensä toiminnalliseen kokoonpanon elektronisia komponentteja, joita voidaan käyttää muiden samantapaisten kokoonpanojen kanssa...” (Erixon 1998). Kielitoimisto (Kielitoimisto) määrittelee termin ”moduuli” itsenäiseksi osaksi, jollaisista voidaan koota erilaisia kokonaisuuksia. *Moduuleista koottu hyllystö*”.

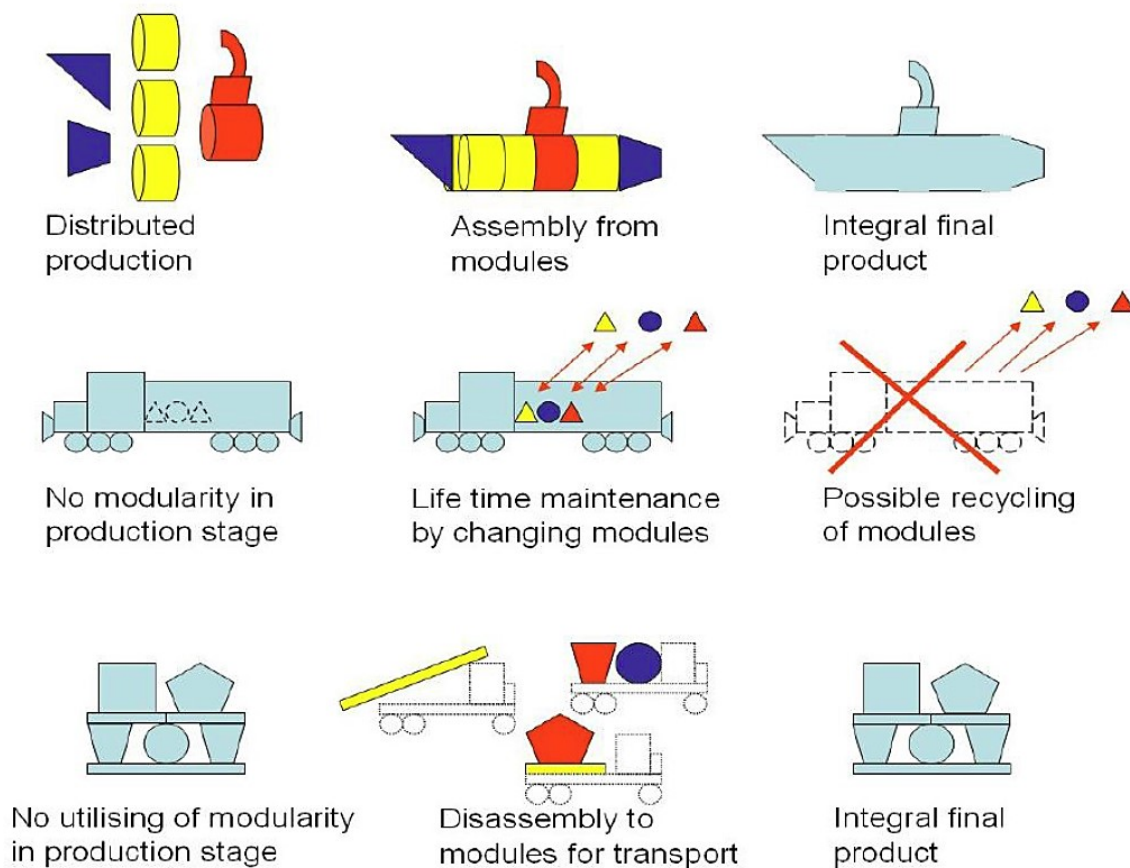
Andreasen (2011) määrittelee termin moduuli, modularisointi ja modulaarisuus seuraavasti:

- **Moduuli** on tuoteolio, josta löytyy selkeä toiminto ja vaaditut ominaisuudet toiminnosta tai toimielimestä, ja samalla muita tuoteolioita tarkastelemalla löytyy sellaiset rajapinnat ja vuorovaikutussuhteet, joiden johdosta tuoteolio voidaan nähdä rakenteen rakennusosana
- **Modularisointi** tähtää monimuotoisuuden luomiseen asiakkaan näkökulmasta katsottuna, ja samalla osoittaen sellaisia yhteisiä piirteitä sekä rakenteellisia ominaisuuksia moduulivarianteissa, jotka vähentävät yrityksen toimintojen monimutkaisuutta. Modularisointi sisältää moduulien suunnittelua, moduuliarkkitehtuuria ja hyötyjen yhteen saattamista niillä alueilla, joilla hyötyjä voidaan nähdä tulevan optimitilanteissa
- **Modulaarisuus** on suhdeominaisuus; sillä ei ole tarkoitus analysoida ja kuvata tuotteen ilmeisen modulaarista rakennetta, ellei se sovi tiettyyn yrityksen alueeseen tiedettävästi: miten modulaarisuuden hyödyt on luotu (kts. Pakkanen 2015)

Lehtosen (2007) mukaan on vähintään kaksi kategoriaa, jotka voivat ilmentävät modulaarisuuden: M-modulaarisuus ja elinkaarimodulaarisuus (M-kirjain viittaa sanaan muuntelu).

M-modulaarisuus tähtää konfiguraatioon ja mahdollistaa tuotevarioinnin. M-modulaarisuudessa moduuli on osan (mikä tahansa kokoonpano tuotteesta tai osa systeemistä), jolla on määrätty rajapinta ja se on osa modulaarista systeemiä. Rajapinnan olemassaolo mahdollistaa moduulin itsenäisyyden ja vaihdettavuuden samaan paikkaan, käytön useassa tuotevariaatiossa tai väylärakenteessa, tai käytön vapaatyylisessä rakenteessa. M-modulaarisuudessa modulaarinen systeemi on systeemi, joka sisältää osasia ja jotka sisältävät osasten keskinäisen vaihtokelpoisuuden (Lehtonen 2007).

Elinkaarimodulaarisuus perustanee modulaarisuuden syihin, jotka löytyvät valmistuksesta, huollosta tai logistiikasta (Kuva 10). Variaatiota ei huomioida elinkaarimodulaarisuudessa. Tässä moduulit voidaan tehdä valmistuksen, kokoonpanon, logistiikan tai huollon näkökulmasta eikä muita moduuleita tarvita. Modulaarista systeemiäkään ei tarvita eikä sitä useimmissa tapauksissa ole edes olemassa tai että tuoteperhe sisältäisi variaatioita. Rajapintojen määrittely ja käyttö on riittävää (Lehtonen 2007).



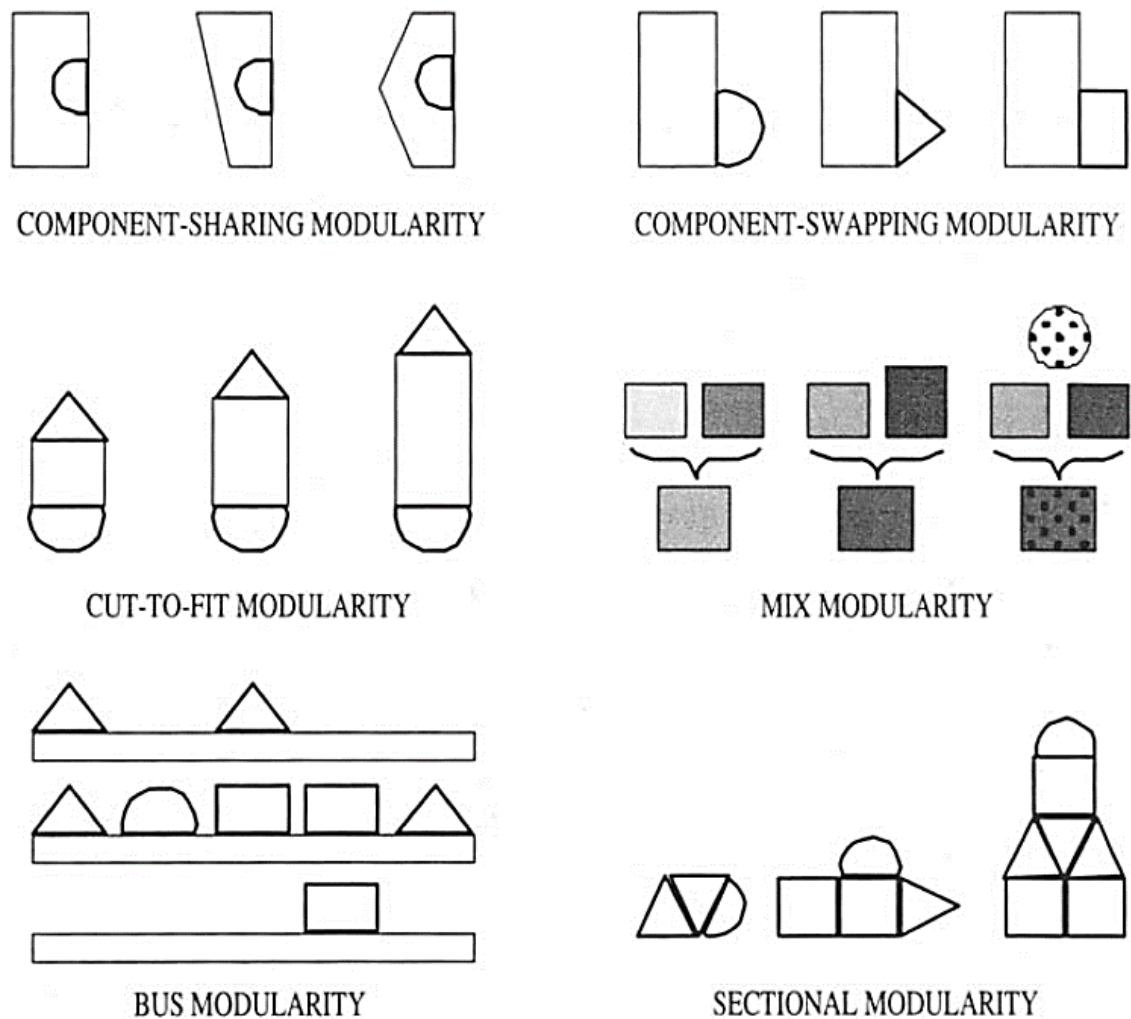
Kuva 10. Elinkaarimodulaarisuudessa moduuliryhmät rakentuvat hyödyllisten vaikutusten ympärille, jonka modulaarisuus laukaisee tuotteen jossain elinkaarivaiheessa. Moduulit esitettynä sini-, kelta-, ja punavärein (Lehtonen 2007).

Moduloinnin tuloksena tuote jakautuu modulointiperiaatteen mukaisesti pienempiin osiin. Erixon (1998) painottaa modulointiprosessia ja määrittelee, että:

- Tuote ositetaan pienempiin liitännöiltään määriteltyihin rakenneosiin (moduuleihin) yrityksen tavoitteiden mukaisesti

Ulrich ja Tung (Ulrich & Tung 1991) painottaa moduloinnilla saatavan rakenteen ominaisuuksia ja antaa moduloidulle tuotteelle kaksi ominaisuutta:

1. Tuotteen fyysinen ja toiminnallinen arkkitehtuurin samanlaisuus
2. Fyysisten komponenttien välisten vuorovaikutusten minimointi (kts. Martio 2015)



Source: From "Patterns of Industrial Automation," by William J. Abernathy and James M. Utterback. Reprinted with permission from Technology Review, copyright 1978.

Kuva 11. Modulaarisuuden tyypit (Abernathy & Utterback 1978)

Modulaarisuutta on tutkittu hyvin monilta eri näkökannoilta (Bi & Zhang 2001; Fixson 2002; Gershenson et al. 2003) ja alkujaan (Abernathy & Utterback 1978) esittelivät vaihtokelpoisuustyyppit ja (Ulrich & Tung 1991) määritteli ne viiteen kategoriaan (Kuva 11) (kts. Jiao et al. 2007):

- Yhteinen komponentti -modulaarisuus (Component sharing modularity), sama komponentti on käytössä useassa eri tuotteessa
 - ajoneuvojen kytkimet, kahvat, rattiviikset
- Vaihtoehtoinen komponentti -modulaarisuus (Component swapping modularity), vakiotuotetta voidaan varioida lisäämällä siihen erilaisia toimintoja tuottavia moduuleja
 - tietokoneen emolevy tai koneen usb-portti, joihin voi liittää laitteita
- Leikkausmodulaarisuus (Cut-to-fit modularity), tuotteen mittoja voidaan varioida yhtä moduulia säätämällä ja säilyttämällä liittymäpinta muihin moduuleihin
 - eritilavuuksisia paineastiat

- Väylämodulaarisuus (Bus modularity) tai Kehys-tyyppinen (frame-type), mahdollistaa erilaisten moduulien lisäämisen vakioituun perusrakenteeseen (tuotealustaan)
 - kiskovalaisujärjestelmä, kuorma-auton alusta
 - Palapelimodulaarisuus (Sectional modularity), samankaltainen vaihtoehtoinen komponentti -modulaarisuuden kanssa, mutta variointi saadaan aikaan koostamalla tuote moduuleista vakiorajapintojen avulla
 - ”legopalikkamainen” tuotteen kokoaminen
- (Lehtonen 2007; Martio 2015)

Pine (1993) lisäsi tähän kuudennen, sekoitusmodulaarisuuden (mix modularity), mikä muistuttaa vaihtoehtoinen komponentti -modulaarisuutta. Tässä modulaarisuusprosessin jälkeen komponentit menettävät alkuperäisen identiteettinsä. Tämän Lehtonen (2007) hylkäisi listalta, koska on mahdotonta tai epäkäytännöllistä määritellä liuostasoa aineksille epämääräisessä tilassa (atomitasolla toki mahdollista).

Modulaarisuuden kaksi erikoistapausta ovat pinomodulaarisuus (stack modularity) ja on-off modulaarisuus (on-off modularity) (Kuva 12). Pinomodulaarisuus on parametrinen modulaarisuuden alatyyppejä. Tässä parametrinen, esim. pituus, voidaan kertoa moduulien lukumäärällä. Esimerkkinä korotuslevyt etäisyyden säätämisessä. On-off modulaarisuus on erikoistapaus komponenttien vaihtokelpoisuudesta. Tässä moduuli on joko käytössä tai ei ole (Lehtonen 2007).

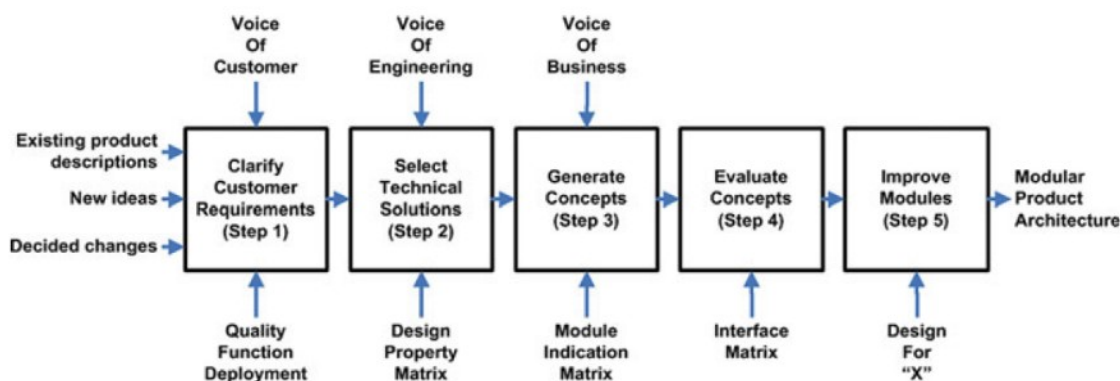


Kuva 12. Modulaarisuuden lisätyypit (Elgård & Miller 1998; Miller & Elgård 1999)

3.3.1 Modularisointitapa: Modular Function Deployment (MFD)

Modularisointitapoja löytyy monia. Tässä on esitelty tarkemmin yksi ja toinen lyhyesti kappaleessa 3.8.3.

Erixon (1998) on esitellyt systemaattisen modularisointitavan Modular Function Deployment (MFD), joka sisältää viisi askelta. Prosessi näkyy kuvassa 13. Kuvaukset olemassa olevasta tuotteesta, uudet ideat ja suunnitellut muutokset voidaan syöttää prosessiin. Kuvassa 13 nähdään myös mikä työkalu missäkin askelmassa on käytössä.



Kuva 13. Modular function deployment (Pakkanen 2015)

MFD-metodi ja prosessi sisältää viisi askelmaa (Erixon 1998):

1. Selvitä asiakastarpeet
2. Valitse tekninen ratkaisu
3. Luo konsepti
4. Arvioi konsepti
5. Paranna jokaista moduulia

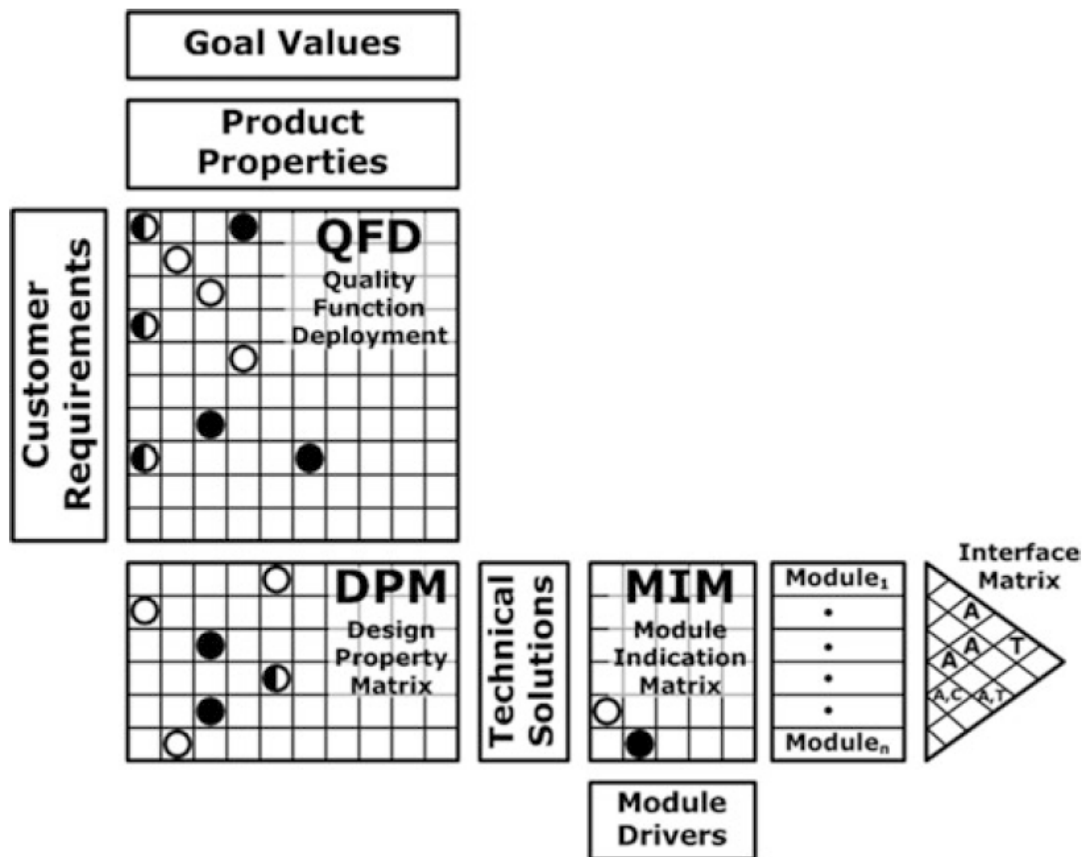
Todellisuudessa suunnittelutyö harvoin alkaa ensimmäisestä askelmasta ja jatkuisi järjestyksessä viidenteen askelmaan saakka. Aloituspiste vaihtelee ja tarvitaan monta iteraatiokierrosta ennen kuin päästään loppuun. Tärkeintä on huomata, että on kuitenkin tarpeellista käydä läpi jokainen askelma, jotta saavutetaan hyväksyttävä lopputulos (Erixon 1998).

MFD-prosessissa alussa perustetaan aina suunnitteluydinryhmä. Tärkeintä on, että prosessissa on monen eri toimialueen toimija mukana. Tiimissä yhdistyy joka toimialueen osaaminen ja tuloksena saadaan suunnitteluajatuksia, joita tässä prosessissa kutsutaan ääniksi. Niitä ovat asiakkaan äänet ”Voices of Customer”, suunnittelijoiden äänet ”Voices of Engineer”, ja markkinoinnin äänet ”Voices of Business”. Yhdistettyjen tiimien ideana on tuoda laajempi näkemys suunnitteluprosessiin, jolloin saadut ratkaisut ovat normaalisuunnittelutiimiä paremmat. (Jiao et al. 2014).

MFD organisoii tuotteen datan, informaation ja tiedon, minkä suunnitteluydinryhmä on kerännyt, kokoelmaksi matriiseja joista syntyy Project Management Map (PMM) eli vapaasti suomennettuna projektin hallintakartta (Kuva 14). Jokainen ääni taltioidaan eri matriisiin tuottamaan modulaarinen tuotearkkitehtuuri. Iteraatiot ovat tarpeellisia, jotta saadaan äänten väliset ristiriidat kompromisseiksi (Jiao et al. 2014).

Viidestä perusaskelmasta ensimmäisessä luodaan Quality Function Deployment (QFD) eli vapaasti suomennettuna laatutoiminnon täytöntöönpano. Se selvittää asiakastarpeet tuotteen ominaisuuksien suhteen. Tuotteen ominaisuudet ovat mitattavissa ja hallittavissa olevia määreitä, jotka sallivat asiakkaan tuotevaatimuksien määritykset. QFD:ssä

yhdistyy ”Voices of Customer” ja ne vaikuttavat tuotteen suunnitteluun järkevällä tasolla (Jiao et al. 2014).

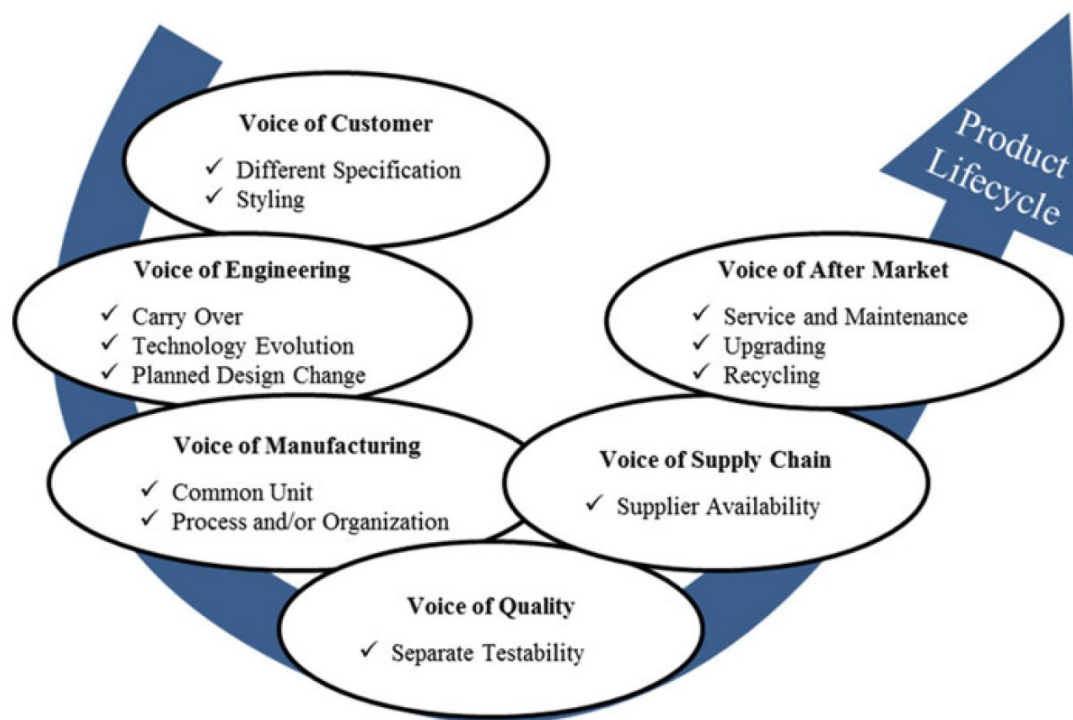


Kuva 14. Product management map (PMM) - tuotteen hallintakartta (Jiao et al. 2014)

Tuotteen toiminnolliset vaatimukset saadaan selvitettyä toimintojen hajauttamiskaavakkeella. Toimintojen hajauttamista käytetään siihen, että saadaan luotua tekninen ratkaisu. Ratkaisut ovat taas tuotteen ominaisuuksien ilmentymiä. Näiden valintojen tulokset mallinnetaan Design Property Matrix (DPM) eli vapaasti suomennettuna suunnitteluominaisuusmatriisiin. Tähän dokumentoidaan siis tuotteen ominaisuuksien ja teknisten ratkaisujen väliset vuorovaikutussuhteet. DPM on esitys ”Voices of Engineering” (Jiao et al. 2014).

MFD:n kolmannessa askelmassa tarkastellaan kahtatoista moduuliajuria, jotka kattavat koko tuotteen elinkaaren (Kuva 15). Ajurit lisätään tekniseen ratkaisuun Module Indication Matrix (MIM)⁴ välittämään se strategiaan mikä yrityksellä on teknisenä ratkaisuna moduulin perustana. Ryhmittämällä MIM ja DPM luodaan moduulikonseptit, jotka ovat siis esityksenä ”Voices of Business” (Jiao et al. 2014).

⁴ MIM: moduulimerkintämatriisi



Kuva 15. Moduulijurit tuotteen elinkaarivirtaan sijoiteltuna (Jiao et al. 2014)

Moduulijurit voidaan ryhmittää yhdeksi äänien ryhmäksi ”Voices of X” (VoX), jonka tarkoituksena on olla puhuttuja tai sanomattomia tarpeita, odotuksia, määrityksiä ja ihmisten haluja, joita kukin VoX-ryhmä pystyy antamaan. Asiakkaan äänet ovat avainasemassa tuotteen määrittämisessä sekä tuotteen arvon määrittämisessä, jonka toisaalta markkinointi yleensä asettaa. Suunnittelijoiden äänet kootaan yhteen suunnittelijoilta, tuotannosta, ja jälkimarkkinoinnista, jotta pystytään suunnittelemaan asiakkaalle sopivaa tuote arvoperusteisissa suunnitteluprosesseissa. Markkinoinnin äänet ovat osakkeenomistajia, yrityksen edustajia tai muita yrityksen liiketoimintaan liittyviä tahoja. Projektipäällikkö, tuotantopäällikkö ja tuotepäällikkö keräävät markkinoinnin äänet MFD-projektissa (Jiao et al. 2014).

Moduulikonsepteja arvioidaan neljännessä askelmassa, miten moduulit fyysisesti tullaan liittämään standardoiduilla rajapinnoilla toisiinsa. Rajapintojen arvioiminen on elintärkeää joustavuuden varmistamiseksi tuotevalikoimassa kuin myös yhtäaikaaisessa suunnittelussa. MFD määrittelee seitsemän rajapintatyyppiä: liitos, kuljetus, tila, komento ja ohjaus, alue, ympäristö ja käyttäjä. Rajapintamatriisi dokumentoi rajapintatyypit ja toimeenpanee rajapinta-analyysin (Jiao et al. 2014).

Viimeinen viides askel parantaa moduulikonseptia DFX lähestymistavalla (Design for X) esim. Design for Manufacturing and Assembly (DFMA)⁵-metodia käyttämällä riippuen siitä mitä tapaa yritys suosii. Moduulimääritelmiin kirjoitetaan jokaiselle moduulille markkinavaatimukset, tekninen informaatio ja liiketoimintastrategia. MFD ei korvaa

⁵ DFMA: suunnittelumenetelmä helpottamaan tuotteen valmistamista ja kokoonpanoa

komponentti tason suunnitteluparannuksia. Tarkempi moduulien komponenttisuunnittelu silti vaaditaan ja joita moduulien määritelmät ohjaavat (Jiao et al. 2014).

3.3.2 Modularisoinnin hyödyt

Lampel ja Mintzberg (1996) ajattelevat, että modularisointi nähdään teollisuudessa erottamattomasti toiveena hyödyntää resursseja kaikista tehokkaimmalla tavalla silloin kun samantyyllisiä tehtäviä ratkotaan ja samantyyllisiä tuotteita tehdään. Silloin kun kustomointi on välttämätöntä, pyritään modularisoinnilla tasapainottamaan laavaa tuotevariaatiota järkevillä tuotteilla. Samalla modulaarisuus on rakenteellinen periaate, joka lisää selvyttä, vähentää monimutkaisuutta, tarjoaa lisää joustavuutta ja mahdollistaa organisaationaalisia hyötyjä työskennellä rinnakkain ja saada tehtävät selvitettyä itsenäisesti. Perushyödyt modularisoinnin takana selitetään taulukossa 1.

Taulukko 1. Modularisointia tasapainottaa kolme tärkeää tekijää, perustuu lähteeseen (Lampel & Mintzberg 1996)

Luo monimuotoisuutta	Hyödyntää samankaltaisuuksia	Vähentää monimutkaisuutta
<i>...asiakastarpeisiin sopivia tuotteita</i>	<i>...järkeistämisen hyödyt</i>	<i>...lisätä parempaa käytettävyyttä</i>
<ul style="list-style-type: none"> Tarjota hyödyllisiä variaatioita – asiakaslähtöisiä variaatioita eri moduulien kombinaatioilla <i>Seuraavat variaatiot eivät ole toivottuja (Anderson, D. & Pine 1997)</i> Turhat variaatiot – valintoja joista asiakas ei ole kiinnostunut Sisäinen variaatio – prosessissa, materiaaleissa ja ratkaisuissa variaatioita, jotka lisäävät kustannuksia mutta eivät lisää arvoa asiakkaalle 	<ul style="list-style-type: none"> 'Välttää töitä' pyörää ei keksitä uudelleen Työskennellä nopeammin ja paremmin oppimalla avustavien työkalujen käytön Vähentämällä riskejä käyttämällä tunnettuja ratkaisuja Vähentämällä sisäistä variaatiota, koska se lisää kustannuksia eikä lisää arvoa asiakkaalle 	<ul style="list-style-type: none"> Hajota pienempiin toimintayksiköihin Työskentele rinnakkain Jaa tehtäviä Suunnittele paremmin Erota testaus omasi toiminnoksi Ihmisten parempi ymmärrys Koteloimalla ja rakenteellistamalla ihmisille parempi käsitys, ymmärrys ja manipulointi kyky

Yritykselle tehdyn BfP:n (kts. lisää kappale 3.7) mukaisen modularisointiprosessin hyötyjä on kuvattu Lehtonen *et al.* (2011) artikkelissa. Prosessin kohteena olevan yrityksen saavuttaneet hyödyt olivat:

- Kattava analyysi asiakastarpeista ja niiden kontrolloitu implementointi tuotteeseen
- Variaatioiden hallinta koko konseptin hallintaa hävittämättä
- Tuoteperheen samankaltaisuuden hyödyntäminen
- Materiaalihallinnan nopeutuminen tuotannossa
- Mahdollisuus variaatioihin tuotannossa
- Tilaus-toimitusketjun nopeutuminen
- Tuotekonseptin järjestelmän laajentuminen, ei pelkästään yhden tuotteen
- Tuotejoukon yksinkertaistuminen ei toivottujen kombinaatioiden karsiutumisella

3.4 Arkkitehtuuri

Pakkanen (2015) toteaa, että puhuttaessa modularisoinnista, vastaan tulee usein termi arkkitehtuuri. Ulrich (1995) ajattelee tuotearkkitehtuurin kaavioksi, jossa tuotteen toiminto on varattu fyysiselle komponentille. Hän määrittelee sen tarkemmin:

1. toiminnollisten elementtien järjestykseksi
2. toiminnollisten elementtien kartoittaminen fyysisiksi komponenteiksi
3. vuorovaikutuksissa olevien rajapintojen spesifikaatiot fyysisille komponenteille

Ollakseen arkkitehtuuri, jokaisen kolmen edellä mainitun määrittelyn pitää toteutua. Tällöin siis jokaisessa yksittäisessä tuotteessa on sisällä arkkitehtuuri. Tuoteperheessä voi myös olla arkkitehtuuri. Tuoteperhearkkitehtuuri tarkoittaa, että erilaisilla tuotteilla on yhtenevät elementtien järjestykset, yhtenevä kartoitus toimintojen ja rakenteen välillä sekä yhtenevät vuorovaikutukset komponenttien kesken. Tuoteperhearkkitehtuuri on olemassa vain, jos yhteiset ominaisuudet ovat olemassa. (kts. Martin & Ishii 2002)

Martin & Ishii (2002) miettivät arkkitehtuurin suunnittelun tarkoitusta. Arkkitehtuuri suunnitellaan tuotelinjalle maksimoimaan yrityksen tuottavuuspotentiaalia. Heidän tutkimuksensa pyrkimys on luoda arkkitehtuuri etsimällä apuja insinöörin luomistyölle, mikä johtaa suunnittelukustannuksien vähenemiseen, muutostarpeiden minimoimiseen ja tulevaisuuden asiakastarpeiden vastaamiseen markkinoilla. Ideaalimaailmassa tämä olisi helppoa, mutta epävarmuus tulevaisuuden asiakastarpeista, teknologiamuutoksista, kilpailijoiden reaktioista ovat omiaan vaikeuttamaan tuotteen suunnittelua, jotka rakentuvat nykysuunnitteluaikaansaannosten päälle.

Fujimoto (2007) määrittelee tuotearkkitehtuurin komponenteista koostuvana suunnittelukonseptina, mikä määrittelee sen, miten osat laitetaan yhteen. Hänen mielestään on olemassa erilaisia arkkitehtuureja ja miten ne rakentuvat.

- kiinteä tai modulaarinen arkkitehtuuri
- avoin tai suljettu arkkitehtuuri

Kiinteä arkkitehtuuri tuo yhteen osat, jotka ovat vuorovaikutuksissa ja omaavat päällekkäisyyksiä toisiinsa nähden. Hänen mukaansa kiinteän arkkitehtuurin tuotteen toiminnallisuus ja suorituskyky perustuu suunnittelun ja valmistuksen kyvykkyyteen saada osat toimimaan ja olemaan vuorovaikutuksissa toisiinsa nähden. Kiinteä arkkitehtuuri on aina suljettua. Tämä syystä, että ne ovat monimutkaisia ja osien vaihtokelpoisuus on vaikea toteuttaa ilman suuria muokkauksia, koska jokainen osa toteuttaa monta toimintoa (Fujimoto 2007). (kts. Pakkanen 2015)

Modulaarinen arkkitehtuuri on vastakohta kiinteälle arkkitehtuurille. Andreasenin ja Fujimoton (2011; 2007) mukaan modulaarinen arkkitehtuuri ottaa huomioon halutun monimuotoisuuden, luo yhteisiä ominaisuuksia resurssien tehokkaalle käytölle ja vähentää monimutkaisuuden vaikutusta kaikissa toiminnoissa. Moduulit, niiden toiminnot ja rajapinnat pitää määritellä modulaarisessa arkkitehtuurissa. Modulaarinen arkkitehtuuri mahdollistaa toiminnot elementtien välillä ja modulaarisen tuotteen konfiguroinnin yleisillä saatavilla olevilla osilla vain, jos osien fyysiset rajapinnat ovat lähellä teollisia standardeja ja rajapinnat on selvästi määriteltä (Pakkanen 2015). Kiinteä ja modulaarinen arkkitehtuuri sekä niiden suhde suljettuun ja avoimeen arkkitehtuuriin on esitetty taulukossa 2.

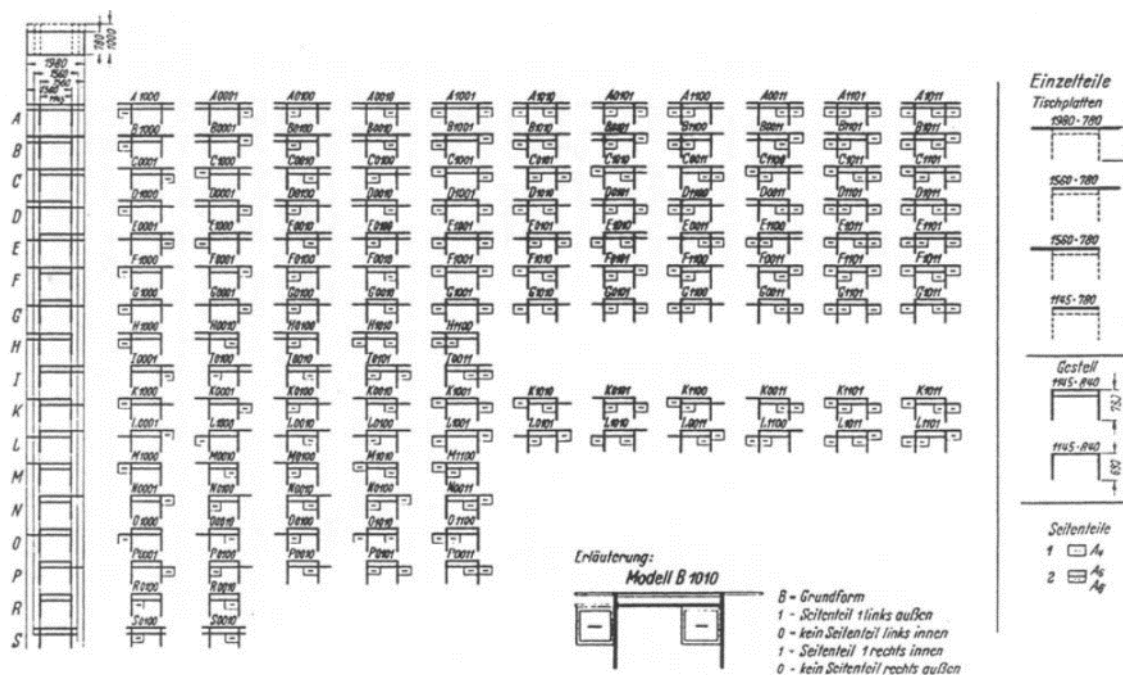
Taulukko 2. Arkkitehtuuri on joko kiinteä tai modulaarinen ja avoin tai suljettu, perustuu lähteeseen (Fujimoto 2007)

		Tuotteen keskinäinen riippuvuussuhde	
		Arkkitehtuuri	
Avoimuus	Arkkitehtuuri	Kiinteä	Modulaarinen
		Suljettu kiinteä	Suljettu modulaarinen
<div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <div style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Avoimuus</div> <div style="text-align: center;"> <p>Suljettu: Yritysspesifi</p> <p>↑</p> <p>↓</p> <p>Avoin: Teollisuusstandardi</p> </div> </div>		<p>Esimerkkejä:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Henkilöauto • Moottoripyörä • Pienet sähkölaitteet 	<p>Esimerkkejä:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Suurtietokoneet (konesali) • Akkutyökalut • Lego palat (lelut)
			Avoin modulaarinen
			<p>Esimerkkejä:</p> <ul style="list-style-type: none"> • PC:t • Taloustuotteet • Polkupyörät

Fujimoton mukaan modulaarisessa arkkitehtuurissa ideana on käyttää vähäinen määrä energiaa, informaatiota jne. saadakseen moduulit toimimaan kunnollisesti. Modulaarinen arkkitehtuuri tekee suunnittelijan työstä helpompaa. Suunnittelijat eivät tarvitse syvällistä

tietämystä moduulin suunnittelusta, muiden moduulien toimintaperiaatteista, kunhan moduulien rajapinnat ovat tiedossa (Fujimoto 2007). (kts. Pakkanen 2015)

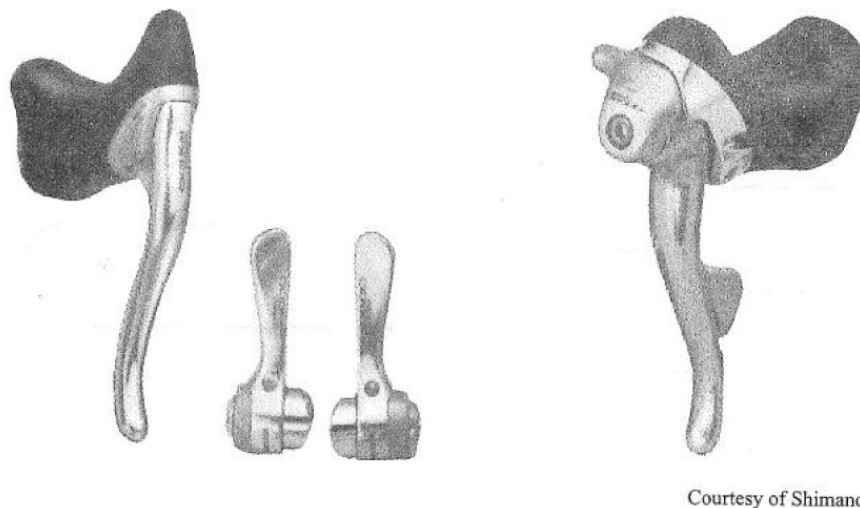
Lehtonen (2007) on työssään esittänyt hyvän esimerkin suljetusta modulaarisesta arkkitehtuurista. Alun perin asian on kuvaillut Borowski (1961). Mauser-Werke:n valmistamat piirustuspöydät sisältävät kaikki määritellyt mahdolliset elementit ja kombinaatiot. Arkkitehtuurin kuvaus ja kaikkien pöytävarianttien layout on esitetty kuvassa 16 (Pakkanen 2015).



Kuva 16. Rakennekuva suljetusta modulaarisesta systeemistä: Mauser-Werke piirustuspöytä (Lehtonen 2007) (orig:(Borowski 1961))

Ja kuten taulukossa 2 on esitetty, Fujimoton (2007) polkupyörät toimivat esimerkkinä avoimesta modulaarisesta arkkitehtuurista. Polkupyörän rungossa on rajapinnat tarvittaville komponenteille, jotka on yleensä standardoitu. Nykyään polkupyöräteollisuudesta löytyy useita vaihtoehtoisia standardeja jokaiselle rajapinnalle. Modulaarisuusperspektiivistä katseltuna voitaisiin kysyä, onko polkupyörä modulaarinen vai perustuuko se vain standardointiin. Lehtonen (2007) selvittää, että konfiguraatioon tähtäävässä modulaarisuudessa (modulaarisuuden tyyppiin joka vaatii tuotevariantteja) vain moduuli joka kuuluu modulaariseen systeemiin, voidaan ajatella olevan oikea moduuli. Tämä perustuu periaatteisiin ja määrittelyihin Baukastensystems (Lehtosen (2007) mukaan tarkoittaen rakenteellisten elementtien systeemiä), jonka esitti alun perin Borowski (1961). Täten jos polkupyörä ajatellaan olevan modulaarinen edellisten määrittelysten mukaisesti, moduulijärjestelmä polkupyörälle voisi sisältää myös muita moduuleita sen lisäksi mitä tietty yritys tarjoaa, mikä on esitetty piirustuspöytäesimerkissä. Joten se, että onko tuote modulaarinen vai ei perustuu pitkälti siihen, miten modulaarisuus on määritelty (Pakkanen 2015).

Yksi hyvä esimerkki kiinteästä arkkitehtuurista toimintopainotteisesta modulaarisuudesta ovat antaneet Ulrich & Eppinger (2008). Heidän mielestään modulaarinen arkkitehtuuri on yleensä sitä, että jokainen tuotteen toiminnallinen elementti toteutettu tasan yhdellä fyysisellä moduulilla ja on vain muutamia hyvin määriteltyjä vuorovaikutuksia moduulien välillä. Esimerkki tästä näkyy kuvassa 17.



Kuva 17. Esimerkki kiinteästä arkkitehtuurista (Alkuperäinen kuva: Ulrich & Eppinger (2008)) (Pakkanen 2015).

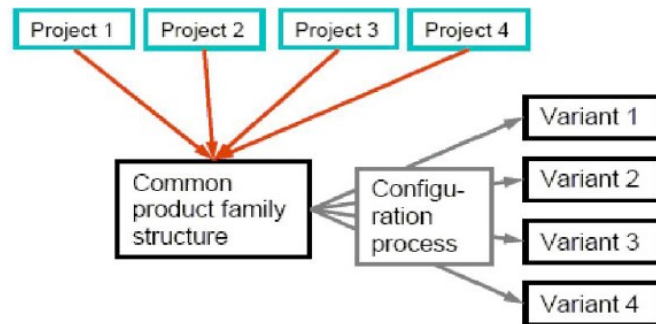
Kuvan 17 vasemmassa reunassa on esimerkki moduulijaoista, joka perustuu periaatteeseen ”yksi tärkeä toiminto joka moduuliin”. Tämä moduulijako ei johtanut maantiepyörien jarru- ja vaihdevipujen markkinamenestykseen. Kuvan 17 oikeassa reunassa on yksi ratkaisu yleisimmästä nykymallisista maantiepyörien jarru- ja vaihdevivuista. Jarru- ja vaihdevivut on integroitu samaan tuotteeseen. Tässä esimerkkinä, kun tuotteen osittelu, jossa otetaan huomioon modulaarisuuden toteuttamisen syyt tietyllä tapaa, voidaan tunnistaa tuotteen käytön vaiheista: turvallisuus ja ergonomia luo tärkeän vaatimuksen tuotteen koostamiselle.

Ulrich & Eppinger (2008) selvittävät, että erilliset jarru- ja vaihdevivut ovat esimerkkinä modulaarisen arkkitehtuurin tuotteesta ja tuote, jossa jarru- ja vaihdevivut ovat integroitu yhteen edustaa enemmän integroitua arkkitehtuuria.

3.5 Konfigurointi

Konfigurointi on lähellä standardisointia, modularisointia ja tuoteperhe- ja tuotealustasuunnittelua. Brown (1998) puhuu ideasta, että **konfigurointi** sisältää komponentin valinnan, käsitteen muodostamisen, tietyn yhteyden komponentin ja yhteensopivuuden testaamisen sekä tavoitteen saavuttamisen välillä. Martio (2007) on selittänyt, että **konfigurointiprosessi** mahdollistuu yleisen tuoteperherakenteen, jonka eri

variantit voidaan määritellä käyttämällä konfigurointiprosessia perustuen projektin tarpeeseen, mikä esitetään kuvassa 18 (Pakkanen 2015).

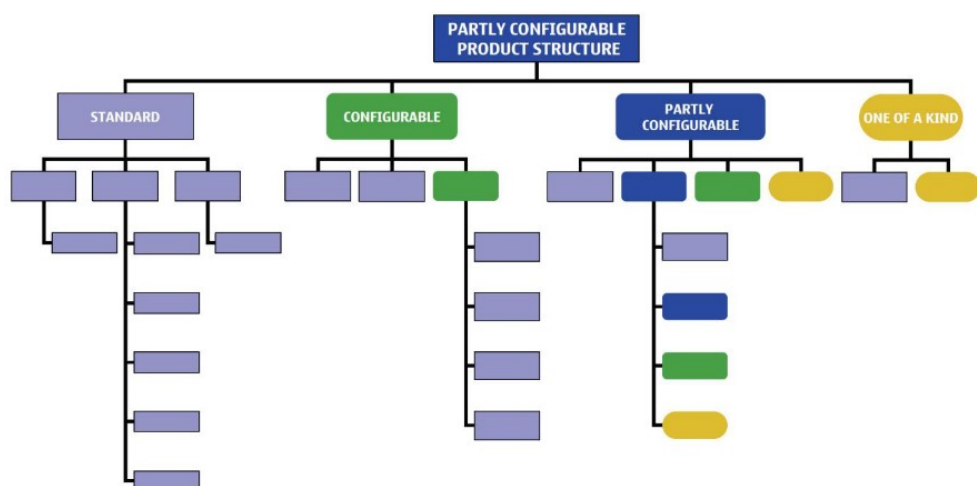


Kuva 18. Konfigurointiprosessin viitekehys Martion (2007) mukaan (Pakkanen 2015).

Variantit tai konfiguraatiot ovat konfiguroinnin tuloksia, konfigurointitehtäviä tai konfigurointiprosesseja riippuen siitä mikä on aktiviteetin määritelmä, jota käytetään. Pulkkinen (2007) on määritellyt konfiguraation seuraavasti (kts. Pakkanen 2015):

”Konfiguraatio on yksittäisen tuotteen määritelmä, joka on tuoteperheen jäsen. Konfiguraatiot sisältävät ryhmän komponentteja ja niiden välisiä suhteita. Yleensä konfiguraatiot ovat tarkoitettu poikkeamaan toisistaan; konfiguraatio on siten erikoisjärjestely tietyistä määrästä mahdollisia järjestelyjä. Konfiguraatioilla on tarkoitus, joka on jokseenkin samanlainen kuin samantyyppisten konfiguraatioiden käyttötarkoitukset.”

Juuti & Lehtonen (2006) ovat tunnistaneet standardin, konfiguroitavan, uniikin ja osaksi konfiguroitavat osat ja Juuti (2008) selvittää, että nämä elementit muodostavat osaksi konfiguroitavan tuoterakenteen, mikä näkyy kuvassa 19.



Kuva 19. Osaksi konfiguroitava tuoterakenne sisältää standardeja, konfiguroitavia, osaksi konfiguroitavia ja uniikkeja elementtejä (Juuti 2008). Juuti & Lehtonen (2006) ovat pohtineet miten tällaiset rakenteet ovat hyödyllisiä monimutkaisien tuotteiden toimituksissa (Pakkanen 2015).

Juuti & Lehtonen (2006) sekä Juuti (2008) ovat määritelleet nämä tuoterakennetyypit, jotka sisältävät erityyppisiä osia seuraavasti:

- **”Standardilla tuoterakenteella** on kaksi tavoitetta: massatuotanto ja tuoteyhdistelmät. Standardi tuoterakenne sisältää standardeja osia, jotka voidaan käyttää uudelleen yhdessä tuotteessa, yrityksen eri tuotteissa tai monissa teollisuuden eri arvoketjuissa. Standardin tuotteen suunnittelu tehdään tilaus-toimitusprosessin ulkopuolella.”
- **”Konfiguroitavalla tuoterakenteella** on kolme tavoitetta: variaation mahdollistaminen modularisaation tai konfiguroinnin avulla, yhtenäisyyden mahdollistaminen uudelleenkäytön ja tuoteyhdistelmien avulla. Konfiguroitava tuoterakenne sisältää standardiosia ja konfiguroitavia osia. Variointi saavutetaan konfiguraatioilla: uudelleenkäyttämällä tietyt standardiosien, modulaariosien ja/tai moduulijärjestelmän osien kombinaatiot. Riippuen kustomointimetodista, variointi voidaan saavuttaa käyttämällä standardointia (väylä- ja palapelimodulaarisuus), vaihtokelpoisilla osilla tai parametripohjaisella modulaarisuudella. Varioitavuuteen liittyy se, ettei suunnittelua tarvita tilaus-toimitusprosessissa.”
- **”Osaksi konfiguroitavalla tuoterakenteella** on kolme tavoitetta: tuote tason yhdistelmät, yhtenäisyys uudelleenkäytöllä ja variointi konfiguroinnilla tai modularisoinnilla. Osaksi konfiguroitavat tuoterakenteet voivat sisältää standardeja osia, konfiguroitavia osia, uniikkeja osia ja osaksi konfiguroitavia osia. Tämä on siis yhdistelmä yo. tuoterakenteista.”
- **”Uniikilla tuoterakenteella** on yksi tavoite: uniikki yhdistelmä, joka vastaa tarpeeseen. Se on suunniteltu tiettyä tapausta varten ja tavoite on saavuttaa tekninen systeemi, joka vastaa tarpeeseen. Uniikkien osien valmistaminen saattaa olla mahdollista olemassa olevilla työkaluilla, mutta massatuotanto ei ole saavutettavissa.”

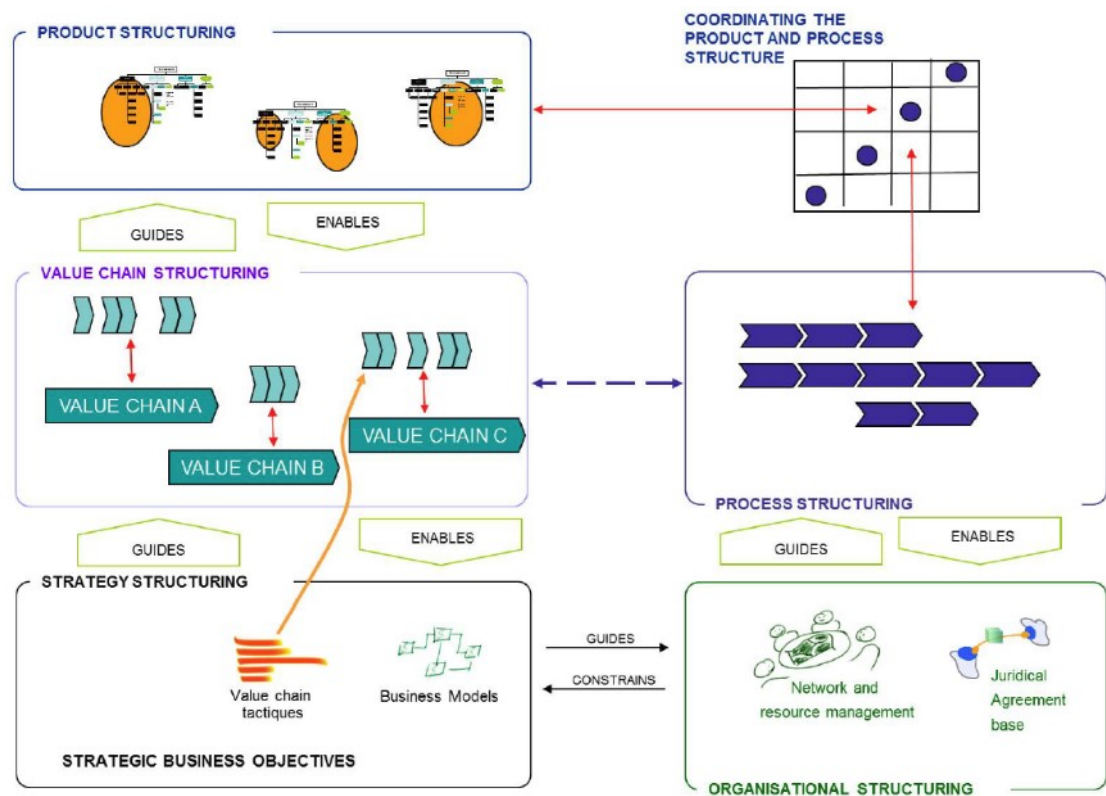
Konfiguraatioiden suunnitteluun liittyvät ongelmat, strategiat ja prosessiaskleet pitäisi olla mietinnässä, kun modulaarista ja konfiguroitavaa tuotetta suunnitellaan. On mahdollista saavuttaa useita hyötyjä, kun käytetään konfiguraattoreita tuotevarianttien määrittämisessä tilaus-toimitusprosessissa. Periaatteessa tämä tarkoittaa vain sitä, että yritys suunnittelee tuotteensa niin, että ne ovat konfiguroitavissa (Pakkanen 2015).

3.6 Product Structuring Principles (PSP)

Pakkanen (2015) toteaa työssään, että löytyy monia ehdotelmia, miten kappaleessa 3.3.1 esiteltyjä arkkitehtuureja pitäisi suunnitella ja hoitaa, esimerkkejä on monia, mutta on olemassa tässä työssä aiemminkin mainittu tapa (Lehtonen et al. 2017) löytää sopiva arkkitehtuuri. Tuotteen rakenteen muotoiluperiaatteet, eli Product Structuring Principles (PSP), perustuu rajallisessa määrässä tapauksia tehtyihin empiirisiin havaintoihin, mikä ei ole täydellinen lista ja saattaa erikoisemmissa tapauksissa olla puutteellinen. Mahdollisuus puuttuvien periaatteiden havaitsemiseen on kerätä yhteen indikaatioita, jotka eivät osoita mihinkään kirjattuun periaatteeseen.

3.6.1 Company Strategic Landscape (CSL)

Puhuttaessa PSP:stä voidaan myös mainita CSL. Juuti *et al.* (2007) ja Lehtonen (2007) ovat kehittäneet viitekehityksen liiketoimintaorientoituneen tuotekehityksen elementtien määrittelemiseksi. Heidän mukaansa liiketoimintaorientoituneen tuotekehityksen painottaa suunnittelua, jossa tuotteen pitää sopia yrityksen tilaus-toimitusketjuun täyttääkseen asiakkaan tai markkinoiden tarpeet. On sanottua, että tämä on mahdollista vain, jos kokonaisvaltainen kuva tuotekehitystilanteesta voidaan kuvata, johon kuuluu myös suunnittelutarkoitus (vuorovaikutukset suunniteltujen elementtien ja liiketoimintaympäristössä olevien elementtien välillä). Juuti *et al.* (2007) ja Lehtonen (2007) mukaan tämän kokonaisvaltaisen kuvan määrittelemisen avuksi voisi olla hyväksi määritellä kartta yrityksen tuotteen strategiasta. Heidän kutsuvat tätä karttaa/viitekehystä liiketoimintaorientoituneen tuotekehitykseksi Company Strategic Landscape (CSL) ja väittävät, että jokaisella yrityksellä on oma karttansa (Kuva 20). (kts. Pakkanen 2015)



Kuva 20. Company Strategic Landscape (CSL) yleisellä tasolla (Lehtonen 2007)

Juuti *et al.* (2007) ja Lehtonen (2007) mukaan muodostaakseen yleisnäkymän elementit ja niiden vuorovaikutussuhteet liiketoimintaympäristössä pitää analysoida. Toteuttaakseen CSL:n määrittelyn selitetään, että modulaarisuus ei puhtaasti liity tuotteeseen, pikemminkin liiketoimintatavoitteisiin ja täten prosesseihin, arvoketjuihin ja yrityksen liiketoimintaympäristöön. (kts. Pakkanen 2015)

CSL:ssä esitetään viisi elementtiä:

- tuotteen jäsentäminen (product structuring)
- arvoketjun jäsentäminen (value chain structuring)
- strategian jäsentäminen (strategy structuring)
- prosessin jäsentäminen (process structuring)
- organisaation jäsentäminen (organisational structuring)

Suhteet näiden elementtien välillä ovat joko ohjaavia (guiding) tai mahdollistavia (enabling), jotka näkyvät kuvassa 20. Tutkimus, joka tähtää tuotekehityksellisiin operaatioihin, pitäisi olla ohjaavien suhteiden johtamista, koska näillä on tosiasiallisesti vaikutusta toimintoihin. CSL:n tavoite on kuvata tärkeimmät alueet ja niiden suhteet, varsinkin tuotteen jäsentämisen näkökulmasta (Pakkanen 2015).

3.6.2 PSP:n pääperiaatteet

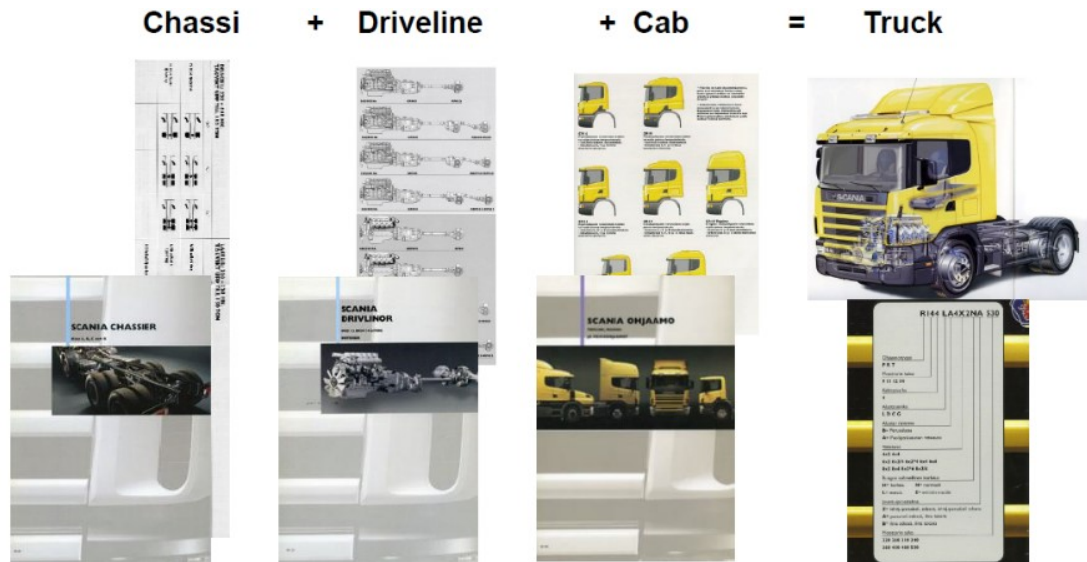
PSP muotoiluperaatteet on kerätty onnistuneista kehityshankkeista, koska CSL:ssä strategisen kartan tuoterakennepäästösten väliin jää pitkä heuristinen loikka ja sitä on pitänyt saada tuettua. Vaikka CSL kuvaa tärkeitä asioita, modulaarisen tuotteiston suunnittelun näkökulmasta se ei kuvaa niiden vaikutuksia suunnittelutehtävälle riittävällä abstraktio tasolla. PSP muotoiluperaatteista voidaan käyttää sääntöä, jonka avulla voidaan pohtia, tuottaisiko se halutun liiketointahyödyn mahdollistaman tuoterakenteen toteutuessaan. Pohdita ei tarvitse tuottaa säännön toteuttamaa varmaa teknistä ratkaisua vaan se selvitetään tulevilla BfP-vaiheissa (kts kappale 3.7) (Lehtonen et al. 2017).

Modulaarisen jäsentämisen periaatteista löytyy useampia esimerkkejä, joiden avulla suunnitellut tuotteet ovat hyödyllisiä yrityksille, kunhan hyväksyttävä tekninen ratkaisu löydetään, näistä ratkaisuista muutama esittelynä (Lehtonen et al. 2017):

3.6.3 Pääkomponenttien vaihtomahdollisuus

Pääkomponenteilla pitää olla samat rajapinnat. Asiakas voi valita minkä tahansa kombinaation pääkomponenteista. Tämä on se minkä asiakas tulee kokemaan, kun he kuulevat ”modulaarisesta tuoteratkaisusta” (Kuva 21).

Tähän liittyen Lehtonen (2007) täsmentää työssään, että Scania pystyi tuotantolinjallaan varioimaan asiakastarpeita modulaarisuuden keinoin. Yksi heidän neljästä tuoteperheestään valittiin vuotuisen kilometrimäärän, tieolosuhteiden, kokonaispainon ja halutun moottoritehon suhteen. Tuoteperheissä oli valmiit alustalayoutit ja kaikki voimalinjat ja hyttirakenteet sopivat näihin minimirajoituksiin.



Kuva 21. Scanian kuorma-autoilla kaikki moottorit, voimalinjat ja hytit omaavat samat rajapinnat ja ovat vaihtokelpoisia. (Lehtonen et al. 2017)

3.6.4 Standardipaikoitus osille

Standardipaikoitus lisätarvikkeille, johdotuksille, putkituksille löytyy yhdellä tai useammalla standardoidulla rajapinnalla. Mahdollisuus useampaan vaihtoehtoon, jolloin ei ole tarvetta ”ad-hoc” kokoonpanoille, eli vain yhtä tarkoitusta varten suunnitellulle ratkaisulle. Kokoonpanoista löytyy varatut reitit johdotuksille ja putkituksille. Ratkaisu antaa mahdollisuuden päivittää tuotetta jälkikäteen ja tuotanto voidaan aloittaa ennen täyttä varmuutta kaikista lisävarusteista. Ryhmäläpiviennit vakiosijoituksin, joita käytetään tarpeen vaatiessa. Käyttämätön laipio tukitaan sokealla laipalla (Kuva 22).



Kuva 22. NB 1351, Color line kolmio putkijärjestely, Aker/Mayer ryhmäläpiviennit (Lehtonen et al. 2017)

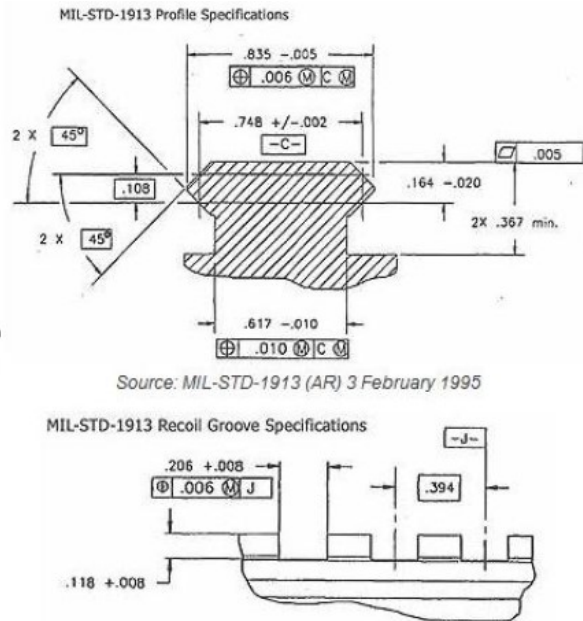
Picatinny-kisko on muodostunut kiinnitysjärjestelmänä aseteollisuuden sotilasstandardiksi (teollisuusstandardi). MIL-STD-1913 (AR) niminen julkaistiin helmikuun 3. 1995, ja nimensä se sai kehittelypaikastaan Picatinny Aresenal, joka sijaitsee New Jerseyssä. MIL-STD-1913 määrittelee mitat kiskolle, johon lisävarusteet kiinnitetään (Kuva 23 ja Kuva 24).



Kuva 23. Teollisuusstandardiesimerkki M4 Carbine accessories (Nissan Goldberg)



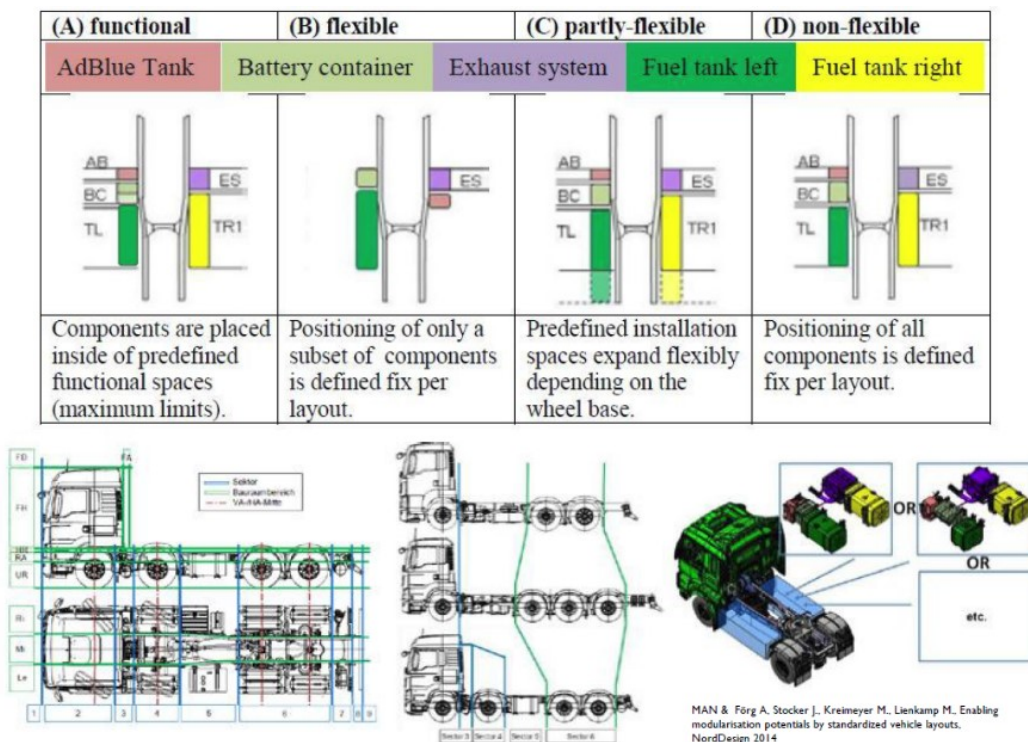
Variation from theme: Weaver rail with same dimensions, but wider grooves.



Kuva 24. Teollisuusstandardiesimerkki, Mil-Spec Picatinny lisävarustekisko. (Lehtonen et al. 2017)

3.6.5 Tilavaraus erilaisille komponenteille

Kriittiset alueet päärungon sisällä on jaettu alueisiin, jotka on varattu pääkomponenteille (Kuva 25).



Kuva 25. Systemaattinen lähestymistapa variaatioiden määrittelyä varten, (MAN et al. 2014). (kts. Lehtonen et al. 2017)

Modulaarisuus mahdollistaa standardin ajoneuvolayoutin potentiaalin. Esimerkissä kuorma-auton alustaratkaisuina löytyy neljä eri ratkaisua: toiminnallinen (functional), joustava (flexible), osittain joustava (partly-flexible) ja täysin määritelty (non-flexible).

3.6.6 Standardoinnin täysi hyödyntäminen

Standardoinnin täysi hyödyntäminen astuu kuvioon, kun variointi ei ole asiakaslähtöistä. Pääperiaate on tuotteen jäsentäminen ja valmistusstrategia. Varioinnin hylkääminen sellaisissa asioissa on järkevää mikä ei ole arvokasta asiakkaille, mutta luo kustannuksia. Parempi tuotannon hallinta esimerkiksi standardimoottoreilla (Kuva 26).

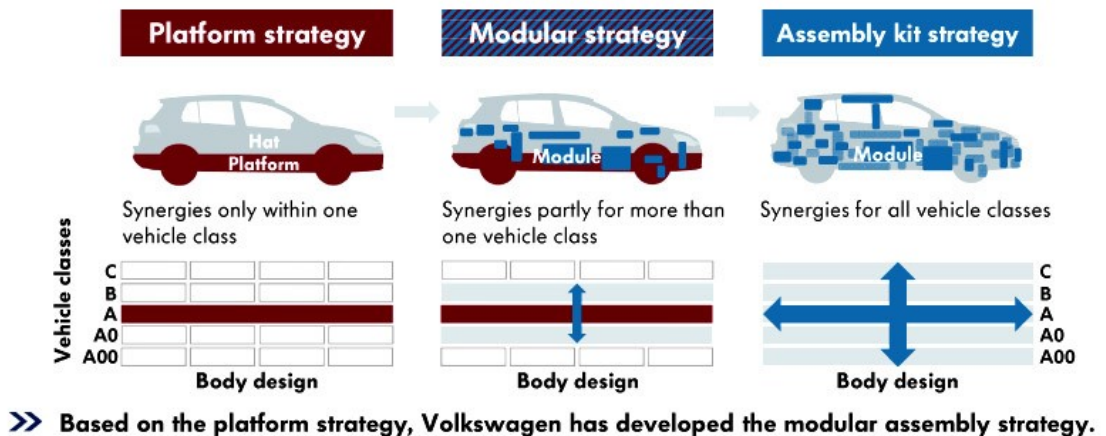


Kuva 26. Volkswagen MBQ arkkitehtuuri (Lehtonen et al. 2017)

Modulaarinen alusta mahdollistaa Volkswagenin rakentamaan monia erilaisia automalleja eri moottorein samaa alustaa hyödyntäen (Kuva 27). Eri automalleissa voidaan käyttää samaa voimalinjaa, jarrujärjestelmiä sekä pikkuosia.

Volkswagenin holistinen lähestyminen modulaarisuuteen on antanut sille edun luoda monia eri autoluokan autoja B-segmentin Polosta D-segmentin Passattiin, Audi TT urheiluautosta Touran tila-autoon. Ainoastaan moottorinkiinnityspisteen ja etuakselista poljinasetelmaan asti ovat mittoina määrätty, muutoin rakenne on varioitavissa (Kreindler).

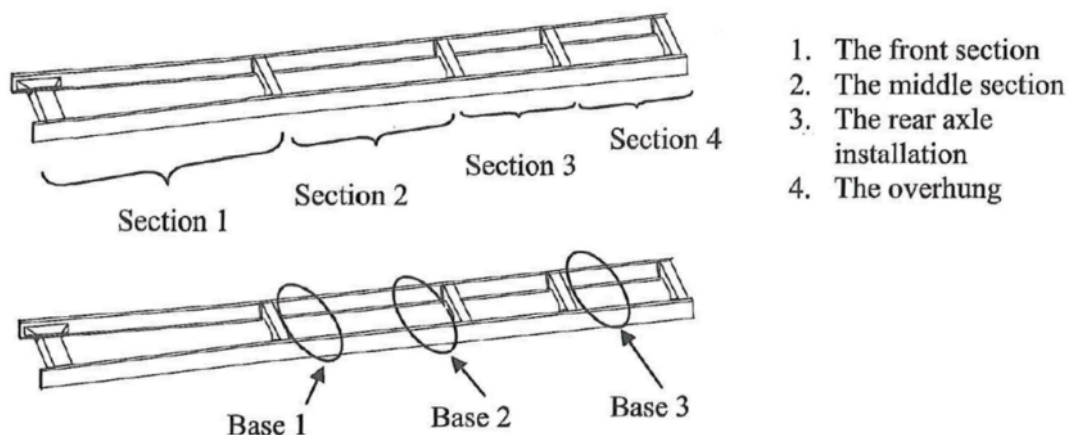
The modular assembly kit evolution



Kuva 27. Volkswagen MQB arkkitehtuuri (Kreindler)

3.6.7 Vaihtalueet varioitavien elementtien välillä

Esimerkki ajoneuvoalustasta missä variaatiot hallitaan määritellyin osastoin (Section) ja peruspistein (Base) (Kuva 28). Variaatiot osastojen välillä eivät riko peruspisteitä. Nämä neljä osastoa pitäisi pystyä suoriutumaan niille suunnitelluista variaatioista vaikuttamatta muihin osastoihin (Pakkanen 2015).



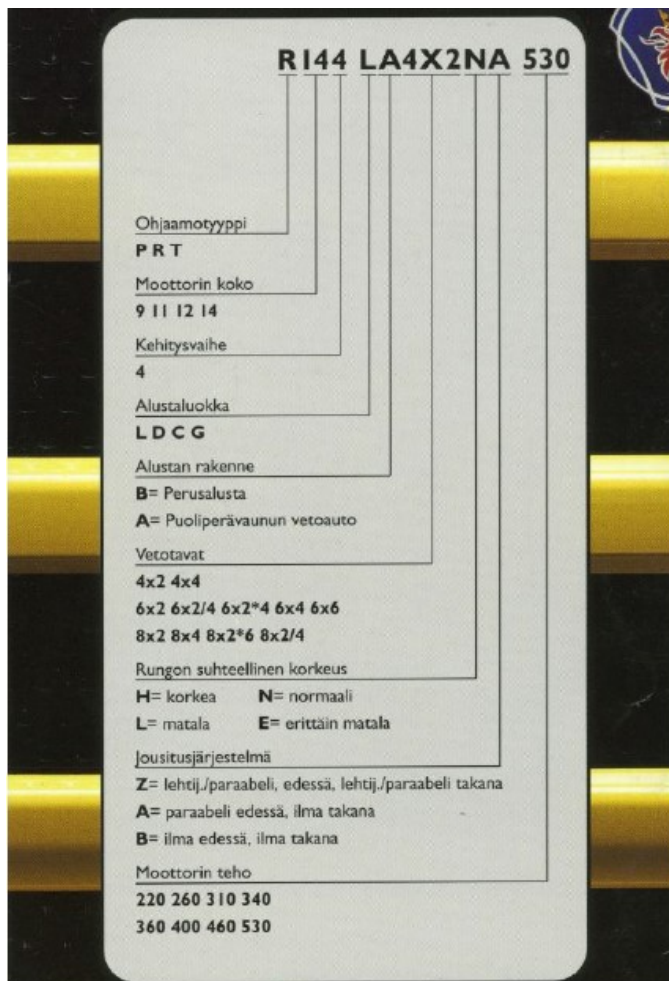
Kuva 28. Rajapintaorientointunut lähestymistapa varioituvuuden hallintaan (Holmqvist 2004). (kts. Pakkanen 2015).

Holmqvistin (2004) mukaan näiden osastojen pitäisi olla niin itsenäisiä kuin mahdollista. Uusi osastovariantti pitää pystyä lisätä ilman, että koko runkoa pitää muuttaa. Peruspisteiden pitäisi estää variaatioiden levittäytymistä muihin tuotteen osastoihin. Hänen mukaansa ideana on, että peruspiste ei ole yksittäinen rajapinta vaan yhdistelmä rajapinnoista lähellä olevien eri osastojen välillä. Peruspiste on myös hyvä paikka

rajapintojen kombinaatioille, tuotteen osat tai palat voidaan pitää vakioina jotka muodostavat pohjan määritellyille variaatioille. Tällaisten peruspisteiden määrittely on haastavaa ja vaatii paljon tuotetietoutta. Pääperiaate onkin luoda variaatio osastoon vaikuttamatta muihin osastoihin (Pakkanen 2015).

3.6.8 Yksi ratkaisu kustomoidulle perusrungolle

Scanian nelossarjan kuorma-auto toimii yhtenä modulaarirakenteen mallina. Yksi ratkaisu sisältää kustomoidun perusrungon konfiguroitavilla laitteistolla ja lisävarusteilla. Asiakas tarjonta ei sisällä pelkästään erilaisia malleja vaan yhden joustavan ratkaisun, joka on räätälöity täyttämään asiakkaan tarpeet. Tästä hyötynä on vahvempi ratkaisukeskeinen tuotemerkki. Tämä avaa ovia huolto- ja kokonaisratkaisusuuntautuneelle liiketoimintamalleille (Kuva 29) (Lehtonen et al. 2017).



Kuva 29. Ei erilaisia malleja vain ”kuorma-auto” (Lehtonen et al. 2017)

Scanian oman raportin mukaan nelossarjalaisessa on 360 päävariaatioita ja tuhansia alivariaatioita. Nämä koostuvat noin 12 000 komponentista. Scanian perusteelliset tekniset ja tuotannolliset ratkaisut modulaarirakenteessa ovat:

- Standardoitu alustarunko erilaisille ajoneuvotyypeille hytin paikasta riippumatta
- Sama perushytti joka mallille (konepellillä tai ilman, perushytti tai makuuhytti, korkea tai matala hytti)
- Standardoidut sovitukset moottorille, vaihdelaatikolle, jousitukselle, hytille jne.
- Tehdasvalmisteiset sovitukset erilaisille alirakenteille
- Mahdollisuus yhdistellä pääkomponentteja tarvittaessa
- Saman sukupolven tuotteita valmistetaan ympäri maailman

Scanian modulaarisuus muistuttaa päätasolla kokoonpanomodulaarisuutta, mutta tarkemmassa tarkastelussa pystyy huomata, että kaikki sen elementit eivät ole kokoonpanoja ja moduuleihin jako ei ole perustu kokoonpanorakenteeseen (Lehtonen 2007).

3.6.9 Suunnitteluperiaatteiden muistilista

Suunnitteluperiaatteille on laadittu lyhyt kahdentoista kohdan muistilista, joihin em. periaatteet kuuluvat (Kuva 30).

- ☐ Apply Base Unit building principle (1)
- ☐ Partition the steel structure according to delivery concept (2)
- ☐ Apply full main component interchangeability (3)
- ☐ Standard positions and connections for accessories, wiring, piping... (4)
- ☐ Make space reservations for variant components (5)
- ☐ Take advantage of standardization (6)
- ☐ Create predefined standard configuration for known dominant designs (7)
- ☐ Using of change stop zones between variant elements (8)
- ☐ Target for factory tested "plug-and-play" site assembly elements (9)
- ☐ Design optional quality elements as interchangeable or add-on (10)
- ☐ Create capability for delivering customer specified finishing (11)
- ☐ One solution, that consists of "custom made" basic core structure and configured machinery & add-on-accessories (12)

Kuva 30. PSP suunnitteluperiaatteiden muistilista (Lehtonen et al. 2017)

Suunnitteluperiaatteita hyödyntämällä pystytään kehittämään suunnittelusta paljon tehokkaampaa ja hyödyllisempää. Suunnitteluperiaatteet perustuivat todettuihin onnistuneisiin kehityshankkeisiin, jolloin perusteet niiden käyttöön on olemassa.

3.7 Brownfield Process (BfP)

Modularisaatio, tuotealustat, tuoteperheet ja tuotekonfiguraatiot ovat tehokkaita tuotteen strukturointitaktikoita massakustomoinnissa. Teollisuus tarvitsee määritelmiä, miten

suunnittelu pitäisi tehdä tässä kontekstissa. Suunnittelukonseptin avain tällä saralla ovat osituslogiikka, moduuliryhmät, rajapinnat, arkkitehtuuri ja konfigurointitietämys. Kirjallisuudessa löytyy menetelmät näiden konseptien hallintaan, mutta vain niiden eri kombinaatioiden, mutta kaikkien yhtäaikainen harkinta on harvinaista. Tästä syystä suunnitteluteoria Brownfield Process on kehitetty. Itse sana '*Brownfield*' on lähtöisin rakennusteollisuuden modernisointiprojekteista ja tarkoittaa saatavilla olevien tarpeiden uudelleenkäyttöä ja että olemassa olevien rakenteiden johdosta suunnittelussa ja ratkaisussa on rajoituksia. BfP metodia on käytetty hyväksi teollisuustapauksissa, joissa tähtäimenä on ollut rationalisoida olemassa olevat tuotevariaatiot kohti modulaarista tuoteperhettä ja joka mahdollistaa tuotekonfiguroinnin. BfP metodi on arvokas tapauksissa, joilla on samantapainen päämäärä (Pakkanen 2015; Pakkanen et al. 2016).

Uuden tuotteen suunnittelu on riskialttiimpaa kuin vanhan tuotteen päivittäminen. Uusi tuote ei välttämättä vastaa asiakkaan toiveita ja markkinoita dominoivat tuotteet voivat vaikuttaa asiakkaat valintoihin. Vanhat tuotteen ratkaisut voivat sisältää turhaa, mikä pitää saada poistettua ennen kuin loput tuotteesta on käyttökelpoista. Tuoteperheet voivatkin sisältää todella paljon osia ja jotkin tuotevariantit ja ratkaisut eivät kohtaa asiakastarpeiden kanssa tehden niistä turhia (Lehtonen et al. 2011).

BfP on inkrementaalinen tuotekehitysprosessi, jonka ensimmäinen versio löytyy julkaisussa Lehtonen *et al.* (2011). Se sisälsi viisi pääaskelta:

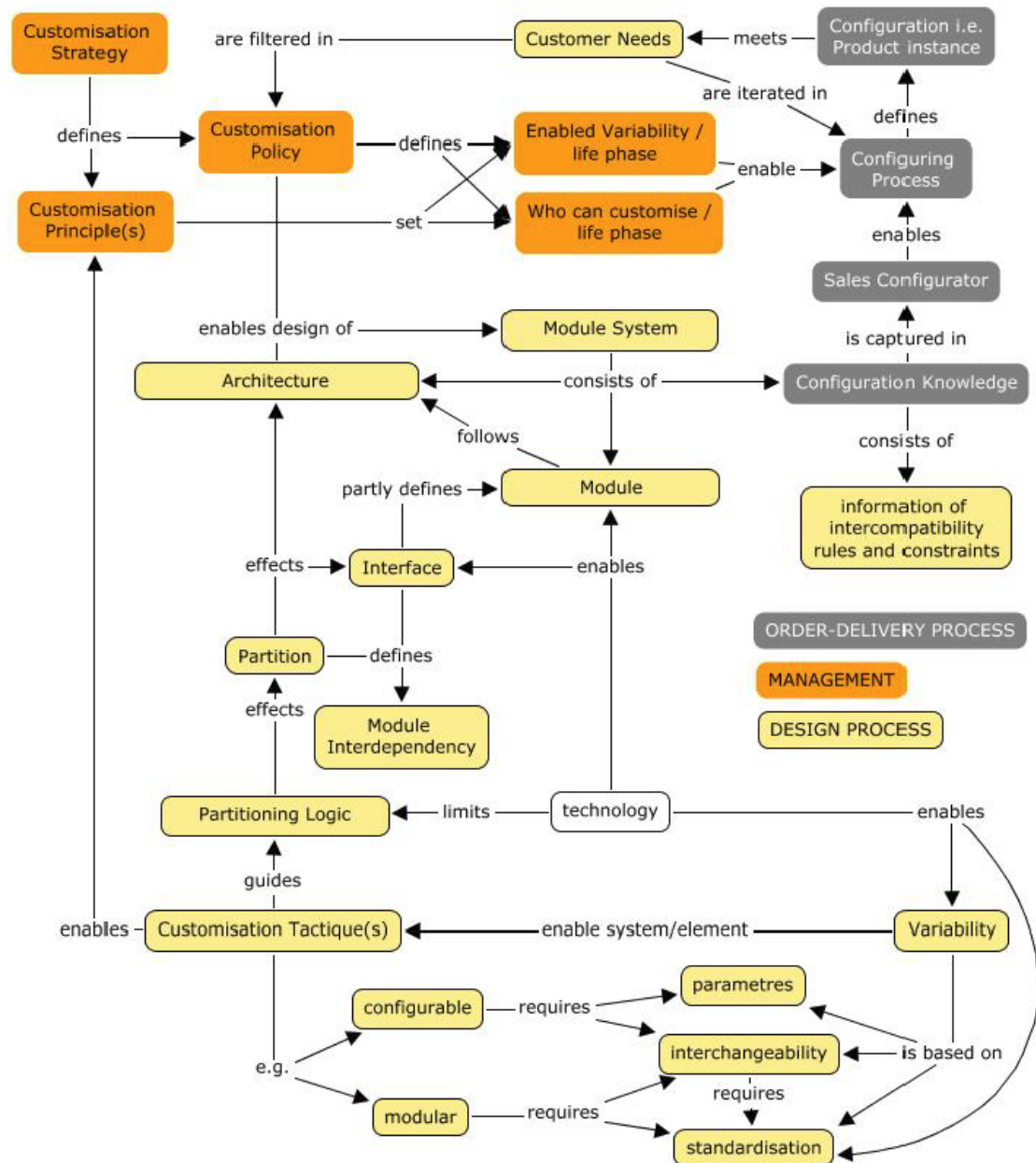
1. Määrittelemällä liiketoimintakohteet
2. Luonnostelemalla ajateltu moduuliarkkitehtuuri vanhojen ratkaisujen ja komponenttien pohjalta
3. Päivittämällä ja rationalisoi markkina- ja asiakastarpeet
4. Luomalla modulaarisen arkkitehtuurin minimimäärällä variaatioita. Määrittelemällä minimimäärä uuden suunnittelun määrälle
5. Dokumentoimalla valikoituun arkkitehtuurin päätyminen

BfP:hen liittyy vahvasti modularisaatio ja siihen liittyy viisi pääelementtiä, joita kutsutaan yhdessä moduulijärjestelmäksi (module system). Nämä elementit ovat osittelulogiikka (partitioning logic), moduuliryhmät (set of modules), rajapinnat (interfaces), arkkitehtuuri (architecture), konfigurointitietämys (configuration knowledge). Modulaarisen tuoteperheen suunnitteluinformaation strukturointi tapahtuu sille annettujen avaininformaatioelementtien avulla. (Pakkanen 2015):

- **Osittelulogiikka** (partitioning logic) määrittelee katselusuunnat, jotka vaikuttavat tuotteen rakenteistamispäätöksiin liiketoiminta ja asiakasperspektiivistä.
- **Moduuliryhmät** (set of modules) sisältää tuoteperheen rakennuspalikat tuotevarianteista.
- **Rajapinnat** (interfaces) (standardoidut) mahdollistavat tehokkaan tuotevarianttien määrittelemisen myynti-tilausprosessissa.
- **Arkkitehtuuri** (architecture) määrittelee kuinka moduulit ja niiden rajapinnat yhdistyvät toisiinsa. Arkkitehtuuri määrittelee myös layoutin tilavaraukset.

- **Konfigurointitietämys** (configuration knowledge) määrittelee relaatiot tuoteperheen elementtien ja asiakastarpeen välillä jotka aiheuttavat tarpeen variaatiolle. Konfigurointitietämys voi myös esittää tuote-elementtien ja asiakastarpeiden yhteensopivuuden.

Nämä moduulijärjestelmän havainnot perustuvat Juutin (2008) päätelmiin modularisaatiosta ja konfiguroitavista tuotteista, ja jota ovat Pakkanen *et al.* (2013) tutkineet pidemmälle artikkelissaan (Kuva 31).



Kuva 31. Avainelementit modularisaatiossa ja konfiguroinnissa (Juuti 2008)

Kuva 31 selittää miten kustomointistrategia ottaa huomioon kustomointiperiaatteet ja menettelytavat tarkoittaen sitä, miten kukin voi kustomoida missäkin elinkaaren vaiheessa ja minkälaista variaatiota on mahdollista luoda missäkin elinkaaren vaiheessa.

Pääelementit moduulijärjestelmässä ovat arkkitehtuuri, moduulit ja konfigurointitietämys. Teknologia mahdollistaa moduulit ja nämä moduulit mahdollistavat tietynlaisen arkkitehtuurin. Juutin (2008) mukaan konfigurointitietämys sisältää informaatiota vaihtokelpoisuuden säännöistä ja rajoitteista.

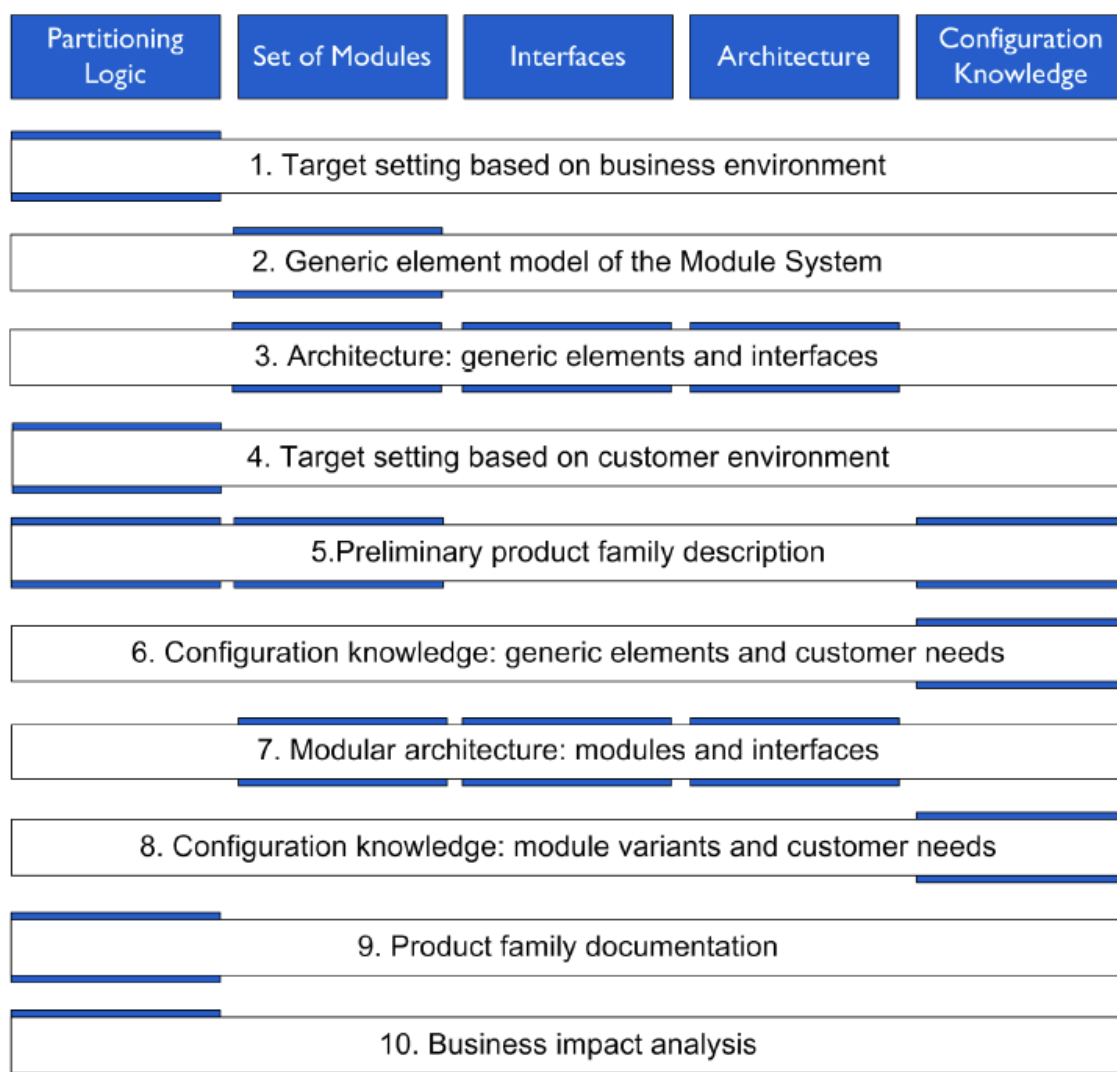
Pakkanen (2015) on laatinut esimerkkitaulukon minkäläistä informaatiota moduulijärjestelmän elementteihin voi liittyä (Taulukko 3). Taulukon esimerkit vihaavat, että lopullinen suunnitteluinformaatio on tärkeää, mutta myös se informaatio mikä koskee työn alla olevaa modularisaatiota, sen dokumentointia ja tallentamista voi olla tärkeää tulevaisuudessa.

Taulukko 3. Moduulijärjestelmän elementit ja edotukset informaatioisisällölle (Pakkanen 2015).

Moduulijärjestelmän elementti	Informaatioisisältö
Osittelulogiikka	<ul style="list-style-type: none"> • objektit liittyen tuotteen elinkaarivaiheisiin • tuotteen elementtityyppien pohdinta (standardi, täysin konfiguroitava, osittain konfiguroitava, uniikki) • varioitavuuden tarveperusteet (asiakas/markkinakonteksti) • arvioitu tai realisoitunut moduulijärjestelmän liiketoimintavaikutus
Moduulit	<ul style="list-style-type: none"> • informaatio moduulikandinaateista (esim. hierarkkinen lista tai moduulijärjestelmän suunnittelun aikana tehdyt alustavat suunnitelmat) • informaatio varmoista moduuleista (yksityiskohtaiset kuvaukset ja moduulien piirustukset)
Rajapinnat	<ul style="list-style-type: none"> • määritelmä ja/tai sopimus kahden tai useamman moduulin rajapinnoista
Arkkitehtuuri	<ul style="list-style-type: none"> • alustava arkkitehtuuri-/layoutkuvaus sisältäen moduulit ja niiden rajapinnat • lopullinen arkkitehtuuri-/layoutkuvaus lopullisista moduuleista ja niiden rajapintakuvaukset
Konfigurointitietämys	<ul style="list-style-type: none"> • alustava ja lopullinen tekninen moduulien yhteensopivuus • asiakastarpeiden huomioon ottaminen varioitavuudessa • alustava ja lopullinen asiakastarpeiden ja moduulien yhteensopivuus

Edellä mainittua Lehtonen *et al.* (2011) viiden portaan prosessia Jarkko Pakkanen (2015) kehitti edelleen tohtorityössään BfP prosessin kymmenportaiseksi systeemiksi, joka löytyy kuvassa 32. Kymmenportaista systeemiä Pakkanen kehitti edelleen vuonna 2016 julkaistussa Design Studies artikkelissa, joka löytyy kuvasata 33.

Prosessi alkaa ja loppuu liiketoiminta-asioihin, koska suunniteltu tuote pitää sopia yrityksen liiketoimintaympäristöön tukemaan kilpailukykyä ja kannattavuutta. Suunnittelun näkökulmasta prosessi tarkentuu tuoteperheen modulaariarkkitehtuurin suunnitteluun. Konfigurointitietämys pitää myös olla prosessissa mukana. Se jouduttaa uudelleenkäyttöä ja myynti-toimitusprosessia. Tällainen tietämys tukee myös suunnittelupäätöksien dokumentointia joka voi olla hyödyllistä myöhemmässä tuoteperheen päivitysprosessissa (Pakkanen 2015).

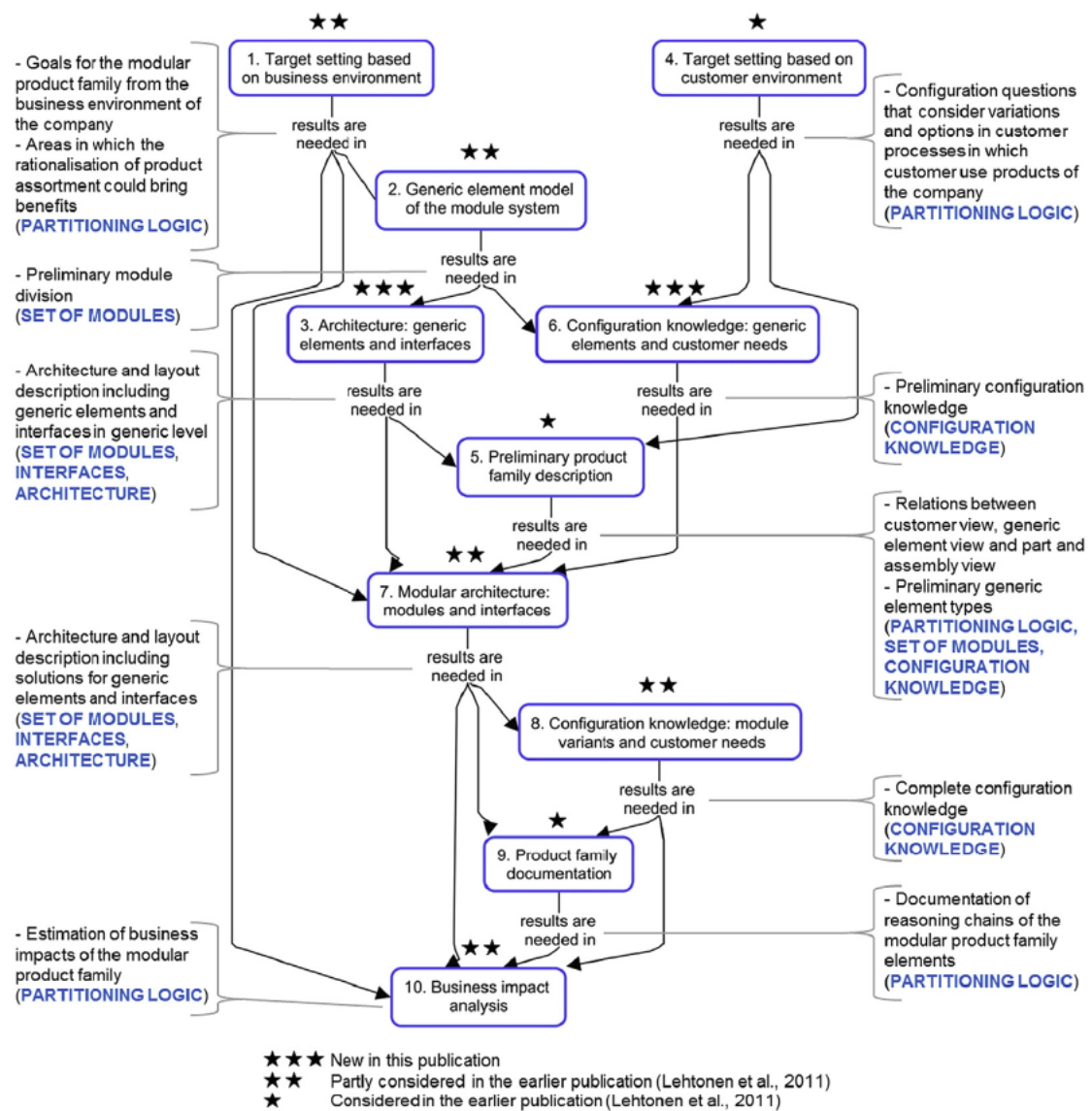


Kuva 32. Brownfield Process (BfP). Vaikka prosessin sisältö on tässä esitetty lineaarisena, voi se sisältää iteraatioita ja kustomointia (Pakkanen 2015).

Jokaisella BfP:n portaalla tähtäimenä on määritellä suunnitteluinformaatio mikä vastaa tiettyyn moduulijärjestelmän elementtiin. Kuvan 32 ylin rivi sisältää edellä mainitut viisi

moduulijärjestelmän pääelementtiä, jotka auttavat ymmärtämään mitä informaatiota tarvitaan modulaarisen tuoteperheen suunnittelussa. BfP:n kymmenen porrasta auttavat määrittelemään näiden viiden elementin sisällön (Pakkanen 2015).

Kuva 33 selittää yksityiskohtaisemmin jokaisen portaan lopputulemat ja mille avainsuunnittelukonseptille lopputulema vastaa ja mille muulle portaalle minkäkin portaan tulos on hyödyllinen (Pakkanen et al. 2016).



Kuva 33. Brownfield process (BfP) olemassa olevan tuotevariaation rationalisoiminen modulaarista tuoteperhettä kohti joka tukee tuotekonfigurointia (Pakkanen et al. 2016).

Kuten kuvasta 32 huomataan BfP sisältää se sisäänrakennettuja iteraatioita. Arkkitehtuuri on määritelty ensin geneerisiä elementtejä käyttämällä (Askel 3), ja myöhemmin suunnittelun edetessä nämä geneeriset elementit ja niiden rajapinnat mietitään detailtasolla. Tällöin huomioon otetaan se, tuleeko tuotteeseen standardoituja, moduulisia variantteja vai toimitusspesifisiä elementtejä (Askel 7). BfP:n tarkoitus ei ole tarkastella

suunnittelua tätä tasoa syvemmillä, koska muuten teoria linjautuisi liian kohdespesifiksi (case-specific) eikä tarjoaisi yleistason metodeja (Pakkanen 2015).

BfP:tä käytetään, kun törmätään liiketoimintaympäristössä epätoivottuun tilanteeseen nykyisen tuotevalikoiman kanssa. Tällä epätoivotulla tilanteella tarkoitetaan ajan saatossa liian suureksi laajentunutta tuotevalikoimaa, kuin myös osa- ja kokoonpanovalikoimaa. Tuotevalikoima ei enää välttämättä vastaa asiakastarpeisiin tarpeeksi tehokkaasti ja optimaalisella tavalla. Tämä hankaloittaa myös myynti-toimitusketjua sekä tuotteen elinkaaren myöhempiä vaiheita. Tästä huolimatta BfP:tä käytettäessä löytyy lupaus siitä, että tuotteella on suunnittelupotentiaalia kasvavan yhtenäisyyden tasalta unohtamatta varioituvuus tarpeita. Tämän potentiaalin lisääminen lisää mahdollisuuksia uudelleenikäytön hyödyntämiseen suunnittelussa. Pääpointti ei ole suunnitella kokonaan uutta tuotevalikoimaa, prosessi on enemmänkin uudelleensuunnittelua vanhoja ratkaisuja käyttäen. Mutta tähtäimenä on saavuttaa nykytuotteista modulaarinen tuoteperhe. Tässä tuotteiden rationalisoinnissa pyritään saamaan pois päällekkäiset suunnitteluelementit (esim. samaan tarkoitukseen suunnitellut osat) ja muodostamaan yleinen arkkitehtuuri tutkituille tuotteille. Saavutettu hyöty BfP:llä yleisesti on parantunut tuotevalikoima liiketoimintaperspektiivistä katsottuna. Ymmärrettävää kuitenkin on, että yrityksen pitää myös tukea uudelleensuunnittelua, jos muutosta todella halutaan (Pakkanen 2015).

Jokaiselle BfP:n askelmalle löytyy suositeltu lähestymistapa ja työkalut, jolla mahdollisesti saavutetaan haluttu askelman lopputulos. Askelmien tarkoitus on tuotetietouden hyödyntäminen esim. diagrammeissa, kuvissa, taulukoissa ja matriiseissa riippuen aina askelmasta. Askelmien tulosten oikeellisuus tai optimaalisuus on vaikea analysoida, mutta geneeriset tulostulokset löytyvät joka askelmasta. Näissä ehdotelmät tosin kertovat vain sen miltä tuloksen pitäisi näyttää ja mitä pitäisi ottaa huomioon askelman täytäntöönpanossa. BfP on enemmänkin heuristinen⁶ lähestymistapa kuin, että se olisi matemaattinen optimointimalli (Pakkanen 2015).

Oletuksena on, että BfP helpottaa tuoteperheen sisällön määrittelyä. Prosessissa tähtäimenä on määrittää tuoteperhe niin, että tulos mahdollistaa tuoteyksilöiden tehokkaamman määrittelyn myynti-toimitusprosessiin uudelleenikäytön ja yhtenäisyyden johdosta. Jos tuoteperhe tarvitsee tulevaisuudessa uudelleensuunnittelua painavat kehityskulut uudelleen päälle varsinkin tuotekehityksessä, myös BfP:tä käyttämällä. Tuoteperheen suunnittelussa yhtäaikainen myynti-toimitusprosessin ja suunnittelun resurssien käyttö voi olla vaikeaa, jos ylimääräistä aikaa ei ole varattu suunnittelulle. Tätä ja muita potentiaalisia sivuvaikutuksia käydään tarkemmin BfP:n viimeisessä askelmassa, jossa liiketoimintavaikutuksia arvioidaan (Pakkanen 2015).

⁶ keksimiseen tai oivaltamiseen johtava

BfP ei pysty määrittellä tarkasti parasta ratkaisua suunnitelmille ja määrittelyksille, mutta sen voidaan ajatella tarjoavan ehdotuksia ja ohjausta mitä pitäisi suunnitella tai määrittellä jokaisessa askelmassa (Pakkanen 2015):

1. BfP tähtää siihen, että se esittää tarkan tavan edetä modulaarisen tuotteen suunnittelussa askelmittain. Askelmien tavoite on määrittellä tarvittava suunnitteluinformaatio moduulijärjestelmän näkökulmasta katsoen.
2. BfP tähtäin on rationalisoida tuotevalikoiman (tuoteperheen) määrittelyn mahdollisuuksia askelmia seuraamalla.
3. BfP sisältää geneerisiä esitavoitteita ja esisuunnitelmia. Jokaisen portaen nimi pyrkii kuvaamaan askelman tulosta. Lisäksi askemat yhdistävät moduulijärjestelmän ehdottamat elementit. BfP ei suoraan määrittele miten esitavoitteet saavutetaan joka kohdassa, mutta prosessi pyrkii tarjoamaan yleisiä ehdotuksia jotka voivat auttaa esitavoitteiden saavuttamista.
4. BfP:n käyttöä voidaan arvioida (käytetään metodia tai ei) vertaamalla saavutettua tulosta suunnitteluinformaatioon joka liittyy tuoteperhesuunnitteluun ja ehdotettuun päätulokseen BfP:n jokaisessa portaassa. BfP:n kuvauksen päämäärä on määrittellä jokaisen askelman tulos, sisältäen sen miltä tulos näyttää ja mihin askelmiin tulos on yhteydessä.

BfP käyttäjiä ovat organisaatio tai tiimi, jonka tehtävänä on rationalisoida tuotekavalkadi. Koska tehtävä luonteensa johdosta vaikuttaa koko tuotteen elinkaareen, on hyödyllistä, että eri osastot yrityksestä osallistuvat määrittelemään tuotetta tuoteperheessä. Prosessiin osallistuvilla tosin pitää olla visio mahdollisista hyödyistä mitä rationalisointi voisi saada aikaan nykyisten ongelmakohtien tuntemisen myötä. Osallistujilla pitää olla hyvä kokonaiskuva yrityksen eri toimintojen ja elinkaaren vaatimuksista tuoteperheelle. Tämän lisäksi on erittäin arvostettua hallita tapa arvioida mahdolliset vaikutukset suunnittelupäätöksien elinkaariajatteluun näkökulmasta. Perusteet miten ja miksi joka askel pitäisi suorittaa esitetään prosessin askelten kuvauksissa. Tämä syystä, että käyttäjillä ei välttämättä ole kokemusta modulaarisen tuoteperheen suunnitteluperiaatteista. Holistinen harkinta tuoteperhesuunnittelussa voi parantaa yleistä lopputuloksen laatua, koska moduulijärjestelmän elementit vaikuttavat koko elinkaareen, kuten askelman 10 liiketoiminta-analyysissä käy ilmi (Pakkanen 2015).

BfP työkaluja käyttämällä dokumentointi tulee sen käyttäjiltä. BfP:n käyttäjien rooli on pääasiallisesti suunnitteluinformaation luonti ja määrittely. Prosessin askelmien työkalut tähtäävät ohjaamaan siihen minkälaista informaatiota tarvitaan ja miten se esitetään. BfP ehdottaa työpajatyypeistä rakennetta monissa askelmassa. Kaikkia asioita tuoteperhesuunnittelussa ei ole järkevää suunnitella työpajoissa. On kuitenkin suositeltavaa, että vähintäänkin jokaisen askelman alussa osallistujilla on sama ymmärrys mitä pitäisi tehdä, miksi se tehdään ja miten se periaatteessa tehdään. Tämän jälkeen työtaakka voidaan jakaa halutulla tavalla. BfP ei itsessään määrittele työmäärää tarkasti (Pakkanen 2015).

BfP:hen liittyvä ylläpito liittyy lähinnä jokaisen askelman suunnitteluinformaation dokumentointiin. Suunnittelun ajatuksenjuoksun dokumentointi modulaarisen tuoteperheen suunnittelussa on hyödyllistä tulevissa suunnitelmissa, kun muutoksia tehdään sen hetkiseen tuoteperheeseen tai uutta tuotetta ryhdytään suunnittelemaan. Dokumentointi pystyy kertomaan sen, minkälaisia vaatimuksia vanhalla suunnitelmalla on ollut ja mihin se on suunniteltu. Suunnittelevan organisaation pitäisi huolehtia tuloksien dokumentoinnista sekä sen polun mikä on johtanut tuloksiin (Pakkanen 2015).

3.8 Brownfield Process 10 askelmaa

Brownfield prosessin 10 askelmaa käydään seuraavien kappaleiden aikana yksityiskohtaisesti läpi.

3.8.1 Askel 1: Tavoitteen asettaminen liiketoimintaympäristöön perustuen

BfP:n askel 1 pyrkii tarjoamaan raamit tavoitteen asettamisessa. Tähtäimenä on määritellä modulaarisen tuoteperhesuunnittelun tavoitteet. Prosessin päätarkoituksena on päästä eroon tuotevalikoiman monimutkaisuudesta löytämällä yhteneväisyyksiä samalla lisäämällä vaihtelevuutta. Pääkysymykset ja niistä saatava informaatioelementit esitetään kuvassa 59 (LIITE A) (Pakkanen 2015).

Ensimmäisenä tehtävänä BfP:ssä on miettiä prosessin laajuus (scope). Tämä tapahtuu tarkkailemalla nykyistä tuotevalikoimaa ja valitsemalla tuotteet, joita pitää analysoida sekä suunnitella pidemmälle tätä prosessia käyttämällä. Liian kapealla tuotemäärällä modularisointi on toki helpompaa ja standardoinnin tai muunneltavien rajapintojen etsiminen helpompaa, mutta hyviä vaikutuksia voidaan hyödyntää vain kovin paikallisesti. Mitä laajemmin asiaa tutkitaan, sitä suuremmat mahdolliset hyödyt ovat. Kun tarkasteltava laajuus on mietitty kohteen selventäminen, voidaan aloittaa kahdella eri toimintatavalla. Asiaa voidaan tarkastella syys-seurausdiagrammilla (cause-and-effect diagram), yhteneväisyyden ja monimuotoisuuden hyötykartalla (Kuva 9). Toinen toimintatapa on käyttää Lehtosen (2007) kehittämää CSL:ää, joka käydään läpi lyhyesti kappaleessa 3.6.1 (Pakkanen 2015).

Syys-seurausdiagrammia voitaneen käyttää silloin kun yrityksen ja suunnittelutiimin mukaan tavoitteet ovat selkeät. Löytyy siis yleinen ymmärrys siitä mitä hyötyjä modulaarisilla rakenteilla haetaan. Diagrammia toki voidaan käyttää myös varmistamaan ennakoajatukset tavoitteista ja mahdollisista hyödyistä, koska se esittää helppolukuisesti geneeriset hyödyt monelta kantilta. Se myös paljastaa yhteydet käsiteltävien asioiden ja niiden hyötyjen välillä. Kartta voi auttaa löytämään alueet, joissa suurimmat hyödyt ovat saavutettavissa ja toisaalta voi olla hyödyllinen BfP:n tavoitteiden määrittelemisessä (Pakkanen 2015).

CSL on paljon kokonaisvaltaisempi työkalu tavoitteen asettamisessa (Kuva 20). Se on hyödyllinen tapauksissa, joissa tavoitteet tuotekehityksessä ovat kutakuinkin epäselviä. CSL kuvailee pääelementit liiketoimintaympäristössä tuotteen jäsentämisen näkökulmasta. Varsinainen tuoterakenne ajatellaan mustana laatikkona tässä askelmassa. Tarkoitus on, että modularisaation vaatimukset käydään läpi työpajassa, jossa CSL-kartta määritellään CSL-mallin avulla. CSL:ää käyttämällä liiketoimintaympäristö mallinnetaan prosessiksi arvoketju-, strategia- ja organisaationäkökulmista. Näiden näkökulmien analyysi yhdessä voi olla hyödyllinen, että löydetään järkevät kohteet modulaarisille tuotteille (Pakkanen 2015).

Yksi BfP:hen liittyvistä asioista on se, että se keskittyy yrityksen olemassa oleviin tuotteisiin. Prosessi sisältää oletuksen, että tuotteita on pitänyt myydä aiemmin ja että tuotteiden täyttämät perusvaatimukset tunnetaan. Täten tavoitteenasettelu pitäisi tarkentua vaatimuksiin ja tavoitteisiin, jotka ovat suhteessa asioihin joista johtuu monimuotoisuuden tarve. Se myös selventää mitkä alueet yhtenevissä piirteissä ovat erittäin hyödyllisiä (Pakkanen 2015).

BfP:n askelman 1 tavoitteen asettaminen hyötyy monitahoisesta ryhmästä, joka sen suunnittelemiseen osallistuu. Se laajentaa näkemystä ja ymmärrystä siitä minkälainen modulaarinen tuoteperhesuunnittelu on ja kaikkia jäseniä päästään kuulemaan. Kaikki näkemys pitää kuitenkin saada kiteytettyä tuotteen vaatimuksiin, mikä ei välttämättä ole helppoa, koska jokaisella taholla on aina oma näkökulmansa. Tärkeintä kuitenkin on saada tavoite ymmärrettävään yksimieliseen muotoon, koska sitä tarvitaan määrittelemään monessa muussa BfP:n askeleessa. Ensimmäisenä tavoiteasetusta tarvitsee tuotekehitys, jotka tekevät varsinaisen suunnittelutyön ja tarvitsevat infon tavoitteista ja alkupisteen suunnitteluaktiviteeteille (Pakkanen 2015).

Yhteenvetona askelmassa 1 BfP:ssä määritellään tavoitteet modulaarisen tuoteperheen suunnittelussa liiketoimintaorientoituneesta näkökulmasta katseltuna. Askel tarjoaa lähestymistavan, joka ottaa huomioon tärkeät liiketoiminta näkökulmat ja liittävät ne tuotekehitykseen, joka taas tähtää modularisoinnin järjeistämiseen. On suositeltavaa tehdä askel työpajamaisesti yhteistyössä yrityksen monen eri tahon yhteisymmärryksessä. Syys-seurausdiagrammi käytettäisiin uudelleenkäyttöajatuksella ja CSL:ää mietitään, kun tärkeitä asioita mietitään yrityksen vision tasolla (Pakkanen 2015).

3.8.2 Askel 2: Moduulijärjestelmän geneerinen elementtimalli

BfP:n askelmassa 2 tehdään alustava moduuleihin jako geneerisen elementtimallin mukaan. Geneerinen elementti on abstrakti elementti tuotteen strukturoinnissa, jotka toimivat alustavina moduuleina. Ymmärrys nykytuotteista, jotka valittiin BfP prosessiin laajuuteen (scope), tarvitaan tämän askelman syöttötietona. Tämä askelma toimii tuotekehityksen aloituspisteenä. Kuva 60 (LIITE B) selittää tämän askelman pääsisällön.

Nämä abstraktit geneeriset elementit määritetään sen mukaan mitä itsenäisiä kokonaisuuksia yritys ajattelee heidän tuotteisiinsa kuuluvan. Niitä voi olla esim. osajärjestelmä, operaattoreita, kokoonpanoja tai jopa yksittäisiä osia. BfP:n prosessin kuluessa geneerisen elementin luonne muuttuu aina vain tarkemmin suunnitelluksi ja voi sisältää useamman vaihtoehtoisen moduulin (Pakkanen 2015).

Tuotetietous jokaisesta yrityksen tuotteesta ja tuotevariantista on tärkeää tässä askelmassa. Jos tulee ilmi, että kaksi tai useampi ehdotus geneeriseksi elementiksi sisältää yhteneväisyyksiä valitaan vain niistä vain yksi geneerinen elementti. Tämä vähentää riskiä, että tuoteperhe tulisi sisältämään turhia tuotevariantteja. Yksi tapa etsiä geneerisiä elementtejä on järjestää työpajatyypinen tapaaminen, jonka osallistujilla on vahva tietämys tuotteesta. Tässä askelmassa pitää ottaa huomioon aiemmin määritellyt liiketoimintatavoitteet ja muistaa dokumentoida kaikki tulokset hierarkkisesti, koska myöhemmissä vaiheissa geneeriset elementit analysoidaan vaatimusten perspektiivissä. Yksi tapa on käyttää 100 % sääntöä: Edustaako valittu geneerinen elementtimalli kaikkia BfP prosessiin valittuja tuotteita vai puuttuuko jokin tuotealue (Pakkanen 2015)?

Yhteenvetona tämän askeleen tavoitteena on määritellä alustavat moduulijaon elementit sekä aloituspiste modulaarisen tuoteperheen arkkitehtuurille ja tuoterakenteen luomiselle. BfP:n edetessä geneeriset elementit määritellään tarkemmalla tasolla. Tästä syystä mallin rakenne mietitään alustavasti ja mitä elementtejä modulaarinen tuoteperhe sisältää (Pakkanen 2015).

3.8.3 Askel 3: Arkkitehtuuri: geneeriset elementit ja rajapinnat

Askel 3 sisältää arkkitehtuurin luonnostelua siitä mihin geneeriset elementit ja niiden rajapinnat määritellään. Tässä askeleessa määritellään miten geneeriset elementit sijaitsevat tuotteessa. Tämä askel on tärkeä, koska arkkitehtuuri osoittaa alustavien hallittavien rajapintojen sijainnin. Kuva 61 (LIITE C) selittää tämän askeleen pääsisällön.

Kappaleessa 3.4 käydään läpi eri arkkitehtuurityyppejä (kiinteä, modulaarinen, avoin ja suljettu arkkitehtuuri). BfP:ssä tähtää modulaariseen arkkitehtuuriin, koska suunnittelussa olettamuksena on, että variantteja tarvitaan. Tässä askeleessa arkkitehtuuri ajatellaan geneeristen elementtien layoutin kuvauksena, joka on määritelty olemassa oleviin tuotteisiin perustuen. Rajapintojen tunnistaminen geneeristen elementtien välillä on välttämätön osa arkkitehtuuria. Kun rajapinnat on määritelty, mahdollistuu molemmat suljettu modulaarinen ja avoin modulaarinen arkkitehtuuri. Suljettua modulaarista arkkitehtuuria käytetään tuoteperheessä määrittelemään sisältymään vain tietyn tyyppiset moduulit ja määritellyt rajapinnat näihin moduuleihin perustuen. Rajapintojen tunnistaminen tässä askeleessa on riittävää. Askeleessa 7 tapahtuu rajapintojen tarkempi määrittely (Pakkanen 2015).

Kun tuoteperhe on suunniteltu ja käytössä, voidaan joskus tulevaisuudessa huomata, että tuote ei vastaa enää asiakkaiden tarpeiden lisääntymiseen. Tässä kohtaa rajapintojen määrittely avaa mahdollisuuden tarjota uusi elementti tuoteperheeseen ja riittävän tarpeellisenä elementti voidaan julkaista menettämättä modularisoinnin hyötyjä. Muussa tapauksessa uusi elementti suunnitellaan uniikkina elementtinä vain tarkoitukseensa, mutta edellytys saada tehokas muutos aikaiseksi on määritellä moduuleihin liittyvä rajapinnat, jotka voidaan ottaa käyttöön (Pakkanen 2015).

Avointa arkkitehtuuria voidaan myös harkita rajapintojen määrittelyssä, mutta tähän liittyy haasteita. Avoimessa arkkitehtuurissa huomio on kiinnitettävä tilavaatimuksiin ja muihin ominaisuuksiin, joita tulevissa malleissa on. BfP:hen ei sisälly tulevaisuuden tarpeiden ennustaminen, mutta ehdottaa rajapintojen tarkkaa määrittelyä. Tulevaisuuden tuotteen elementit voidaan ottaa huomioon tekemällä tuoteperheelle alustojen ja arkkitehtuurin tiekartta/suunnitelma (road map). Suunnitelma kertoisi mitkä tuotteen uudet elementit mikäkin arkkitehtuuri ja tuotealusta sisältäisi ja milloin uusi arkkitehtuuri tai tuotealusta suunnitellaan sisältämään mikäkin elementti (Pakkanen 2015).

Löytyy monia tapoja määritellä tämän askeleen alustavat arkkitehtuurin geneeriset elementit ja niiden rajapinnat. Ensimmäisenä geneeristen elementtien suhteet pitää selvittää. Tätä varten löytyy Design Structure Matrix (DSM) -työkalu (Steward 1981), jota voi käyttää siihen. Matriisissa geneeriset elementit voidaan listata ja niiden väliset suhteet voidaan analysoida rajapintojen suhteen. Kuvassa 34 on geneerinen esimerkki DSM matriisista (Pakkanen 2015).

DSM for interface recognition	Generic element 1	Generic element 2	Generic element 3	Generic element 4	Generic element 5
Generic element 1					
Generic element 2	x				
Generic element 3	x	x			
Generic element 4		x			
Generic element 5			x		

Kuva 34. DSM:ää voidaan käyttää aputyökaluna rajapintojen tunnistamiseen geneeristen elementtien välillä. Tässä geneerisellä elementillä 1 on rajapinnat elementtien 2 ja 3 kanssa. Duplikaatteja ei ole merkitty matriisiin (Pakkanen 2015).

CAD työkalut ovat yleensä liian raskaita käyttää visualisoimaan tuoteperheen arkkitehtuuria, koska tässä vaiheessa ei ole välttämättä lopullisia malleja käytettävissä

eikä lopullista tuoteperheen rakennetta ole vielä saatavilla. Vanhoista tuotteista piirustukset toki löytyvät. Perus toimistotyökalut, kuten esimerkiksi Microsoft Visio, toimii yhtä hyvin tuotearkkitehtuurin ja rajapintojen luonnosteluun. Parhaimmillaan se voidaan linkittää käytettyyn PLM systeemiin ja saada sitä kautta hyödyt käyttöön. Yleensä voi olla hyödyllistä luonnostella uudet tuotearkkitehtuurit ja rajapinnat olemassa olevan tuotteen hahmotelmaa apuna käyttäen (Pakkanen 2015).

Yhteenvedona tässä askelmassa kerätään informaatiota geneerisistä elementeistä ja niiden välisistä rajapinnoista, joita suunnittelutiimi voi käyttää hyväkseen. Tämä askel toimii rajapintojen suunnittelun aloituspisteenä. Ja kuten edellä, voidaan tämä askel toteuttaa työpajamaisesti ryhmässä suunnitellen. Tämän askeleen tuotos (geneeristen elementtien ja niiden rajapintojen layoutin kuvaus) tarvitaan askeleessa 7, jossa moduulit ja niiden rajapinnat suunnitellaan tarkemmin. Jos ajatellaan viittä moduulijärjestelmän pääsuunnitteluelementtiä, tämän askelman tuotos on selvästi arkkitehtuuri, moduulit ja rajapinnat yleisellä tasolla (Pakkanen 2015).

3.8.4 Askel 4: Tavoitteen asettaminen asiakasnäkökulmaan perustuen

BfP tähtää olemassa oleviin tuotteisiin eikä ole pääasiallisesti tarkoitettu täysin uuden tuoteperheen suunnitteluun. Kun modulaarista tuoteperhettä suunnitellaan, tarkoittaa se sitä, että on olemassa vanhoja tuotteita, joita on valmistettu ja toimitettu täyttämään joitakin asiakastarpeita. Asiakasympäristön tutkiminen on tärkeää, jos yritys haluaa muuttaa toimintatapaansa toimituskohtaisesta ratkaisusta muunneltavaan tuotteeseen, joka perustuu ennalta määrättyihin ratkaisuihin. Muodollisia asiakasvaatimuksia tarvitaan määrittelemään muunneltavuussäännöt, jotka selittävät minkälaisia tietyillä vaatimuksilla olevia tuotteita asiakkaalle toimitetaan. Kaikkia asiakasvaatimuksia ei pysty määrittelemään muodollisesti, mutta silloin nämä osat, joita vaatimukset koskettavat jätetään ulos systemaattisesta konfiguraatiosta, jolloin niistä voi tulla osaksi konfiguroitavia. Jos asiakasvaatimuksia ei analysoida muunneltavuuden hyötyjen hyöty jää vähäiseksi. Tämän askeleen pääsisältö näkyy kuvassa 62 (LIITE D) (Pakkanen 2015).

BfP sisältää olettamuksen, että yrityksessä on tieto tuotteen perusvaatimuksista (esimerkiksi laivan pitää kellua) ja näitä vaatimuksia ei painoteta suunnitteluprosessissa. Tarkemmat vaatimukset voivat sisältää tietoa, joka ei ole enää tärkeää olemassa olevissa teknisissä toteutuksissa. Tämä voi johtaa perinteisiin, jotka itse asiassa eivät ole hyödyksi tuotteelle tai liiketoiminnalle. BfP suosittelee analysoimaan asiakassisällön varmistamalla, että tuotevaatimukset ovat oikeita ja ajan tasalla eikä vanhojen tuotteiden mukaisia. Tämän askeleen tarkoituksena onkin määritellä järkevät asiakasvaatimukset modulaarisen tuoteperheen suunnittelua varten (Pakkanen 2015).

BfP suosittelee käyttämään niin kutsuttua Gripen menetelmää asiakastarpeiden selvittämiseen. Gripen menetelmässä asiakastarpeiden määrittämisen aloituspiste on

ymmärtää prosessi, kun asiakkaat käyttävät yrityksen tuotteita. Asiakasnäkökulmasta vaatimuksia määriteltäessä on tarkoitus keskittyä muunneltavuus seikkoihin. Etsimällä ao. neljään kysymykseen vastaukset pystytään löytämään muunneltavuuden avaimet (Pakkanen 2015):

- Minkälainen prosessi voidaan tunnistaa asiakkaiden käyttäessä yrityksen tuotteita (tuotteita, jotka on valittu suunnittelun aloituspohjaksi BfP:hen)?
- Minkälaisia geneerisiä prosessin askelmia ja segmentointeja voidaan tunnistaa asiakkaiden tavasta käyttää tuotteita?
- Minkälaiset vaihtoehtoiset parametrit tai valinnat ovat vaikuttamassa prosessin jokaisessa askelmassa, joilla on tuotteen määrityksiin vaikutusta?
- Onko olemassa muita asioita tai suositeltuja tapoja työskennellä, mikä aiheuttaa tarpeen erilaiselle tuotteelle tai tuotevalinnalle?

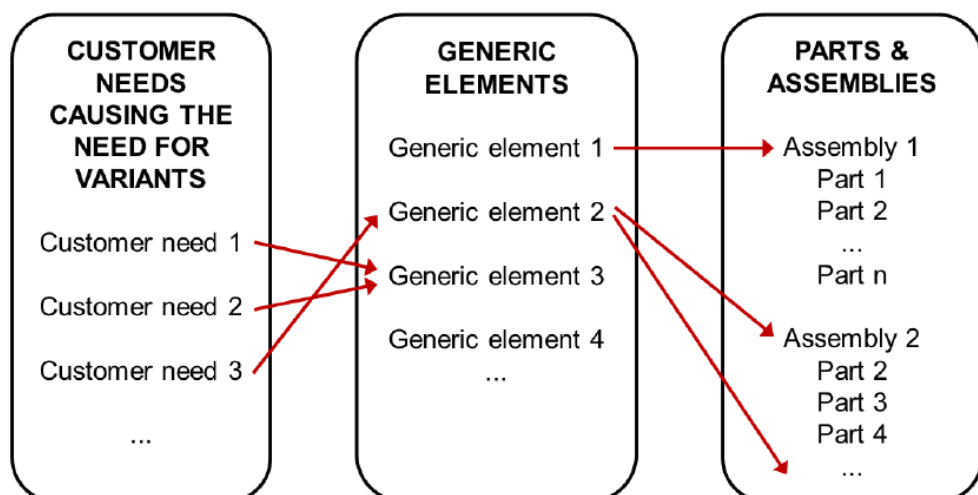
Gripen menetelmää voidaan käyttää perustana segmentoitaessa samaan segmenttiin samantyyppisten variaatiotarpeiden teknisiä ratkaisuja. Segmentointimallia voidaan käyttää ohjaamaan tiettyä ratkaisua tietylle potentiaaliselle asiakasryhmälle. BfP:ssä ei segmentointia tehdä tämän tarkemmalla tasolla, mutta linkkiä asiakaskontekstin ja teknisten ratkaisujen välillä mietitään konfigurointitietämyksen perspektiivistä myöhemmässä prosessin vaiheessa. Gripen menetelmä ehdottaa suurempien kokoonpanojen ja ratkaisujen myymistä yksittäisten komponenttien sijaan. Syy tälle on se, että yritykselle on helpompaa olla varma määrätyn varianttimäärän kuin monen yksittäisen osan tai kokoonpanon toimivuudesta ja yhteensopivuudesta. Tuotelementtien suuruuden määrittäminen modulaarisesta perspektiivistä katseltuna taas riippuu modulaarisuuden tasosta ja arkkitehtuurivalinnoista (Pakkanen 2015).

Tämän askelman yhteenvetona keskitytään analysoimaan monimuotoisuuden tarvetta asiakasnäkökulmasta tarkasteltuna. Tarkoituksena on selvittää asiakkaan tavat käyttää tuotetta ja löytää heidän valintojensa perusteet, mitkä asiat pitää ottaa huomioon modulaarisen tuoteperheen suunnittelussa. Olettamuksena toki on, että olemassa oleva tuote löytyy yrityksessä ja että asiakas on ostanut sen. Tässä askelmassa tarvitaankin asiakastuntemusta, jolloin myyntihenkilöstön tarve on ilmeinen. Tämän askelman tuloksena on asiakaskontekstin kuvaus ja ymmärrys asiakkaan tavoista ja valinnoista työskennellä. Saavutettu informaatio on tärkeässä roolissa, kun monimuotoisuus asioita pohditaan. Tämän askelman tuloksena on saatu osittelulogiikan informaatioelementti, koska asiakaskonteksti pitää olla mietittynä, kun modulaarisen tuoteperheen rakennetta suunnitellaan. Muussa tapauksessa riskinä on, että modulaarisuuden hyötyjä ei saavuteta. Asiakkaan tarpeet ja vaatimukset vaikuttavat siihen, miten tuotevalikoimat pitäisi ositella tietyllä tavalla (Pakkanen 2015).

3.8.5 Askel 5: Alustava tuoteperhemäärittely

Askelman 5 tähtäimenä on jatkaa tuoteperheen perusteiden määrittelyä ja analysoida minkälaisia standardointimahdollisuuksia geneerisiin elementteihin liittyvillä osilla ja kokoonpanoilla on. Askelman pääsisältö näkyy kuvassa 63 (LIITE E) (Pakkanen 2015).

Tämän askelman tarkoituksena on löytää minimimäärä variaatioita, jotka täyttävät asiakastarpeet. Väitöskirjassaan Harlou (2006) esitteli menetelmän Product Family Master Plan (PFMP), joka vapaasti suomennettuna tarkoittaa tuoteperheen kokonaissuunnitelmaa. Tällä pystytään tekemään alustava tuoteperheen kuvaus, jossa luodaan kolme eri tuoterakennenäkömää. Niitä ovat asiakastarpeista johtuvat variointitarpeet (customer needs causing the need for variants), geneeriset elementit (generic elements) sekä osat ja kokoonpanot (parts & assemblies). Asiakasnäkömässä esiintyy markkinoille tulevat variaatiot, geneeriset elementit kuvaavat tuoteperheen. Osa- ja kokoonpanonäkömää pitäisi olla yhteydessä tuotantojärjestelmään. Tätä PFMP menetelmää on hieman muunneltu BfP:tä varten ja sen periaate näkyy kuvassa 35 (Pakkanen 2015).



Kuva 35. Alustava tuoteperheen kuvaus tehdään kolmeen näkömään PFMP menetelmää käyttäen. Tarkoitus on määritellä mitä näihin kolmeen näkömään kuuluu, mitä yhteyksiä niillä on toisiinsa ja mitä standardointimahdollisuuksia löytyy (Pakkanen 2015).

Tämän askelman yhtenä tehtävänä on siis listata askeleessa 4 listatut asiakkaiden päätarpeet tai vaatimukset, joissa on mahdollisuutta tuotevariantteihin asiakasnäkökulmasta (vasen ruutu, kuva 35). Askeleessa 2 etsittiin geneeriset elementit (keskimmäinen ruutu, kuva 35) ja nyt niihin liittyvät osat ja kokoonpanot etsitään myös (oikea ruutu, kuva 35). Näiden kolmen ruudun väliltä etsitään yhtymäpisteitä (Pakkanen 2015).

Kun kolme näkömää on valmiina, aloitetaan analyysi. Analyysi voidaan aloittaa ensin etsimällä yhteydet asiakastarpeiden ja geneeristen elementtien välillä tai etsimällä

geneeristen elementtien yhteydet osiin ja kokoonpanoihin. Tässä askeleessa yhteydet joko on tai ei ole (Pakkanen 2015).

Asiakastarpeiden ja geneeristen elementtien välisiä yhteyksiä analysoidessa pitäisi löytyä vähintään yksi geneerinen elementti jokaista varioituvuutta vaativaa asiakastarvetta kohden. Jos joku asiakastarve ei löydä yhteyttä geneerinen elementin kanssa voisi se elementti olla hyvä standardointia varten. Geneerinen elementti, jolle löytyy useampi asiakastarve, on haastava modularisointia ajatellen (Pakkanen 2015).

Geneeristen elementtien sekä osien ja kokoonpanojen välisiä yhteyksiä analysoitaessa on tarkoituksena avata keskustelua laajasta osamäärästä nykyisessä tuotteesta sekä osien ja kokoonpanojen standardointimahdollisuuksista. Se, miten geneeriset elementit sekä osat ja kokoonpanot ovat yhteyksissä, pitää määrittää (Pakkanen 2015).

Tämä kolmen näkymän yhteyskartta voi olla silmiä avaava kokemus silloin, jos nykytuotteet eivät sisällä paljoa yhteneväisyyksiä, mutta sisältävät useita samoille tarpeille suunnattuja ratkaisuja. Jokaisella varianttiosalla tai moduulilla pitäisi olla yhteys tiettyyn asiakastarpeeseen, joka selittää miksi pitää olla variaatiota. Tämä on perussääntö varioitavuudelle, mutta siihenkin löytyy poikkeuksia. Liiketoimintaympäristö voi luoda tarpeen variaatiolle yrityksen sisäisten prosessien kautta. Osat pitääkin järjestellä näkymäänsä sen mukaan mihin elementteihin niillä on yhteys. Tämä antaa yleisnäkymän nykytuotteista ja niiden yhteneväisyyksistä sekä ottaen huomioon BfP:hen valitun tuotevalikoiman monimuotoisuuden. Tämä viivoilla yhdistelty näkymien yhteyskartta voi olla avuksi, kun mietitään erilaisia tuotteen jäsentämistaktiikoiden mahdollisuuksia (Pakkanen 2015).

Moduuliksi voidaan luokitella tiettyyn geneeriseen elementtiin yhteydessä olevia osia, jotka voidaan muodostaa pienellä standardiosaluettelolla (kunhan tähän geneeriseen elementtiin liittyy varioitavuustarve). Näillä sopivasti valituilla standardiosaluetteloilla voidaan täyttää varioituvuuden ehdot tuotteen myynti- ja toimitusprosessissa. Jos suurin osa geneerisen elementin osista voidaan standardoida ja vain muutamaa pitää varioida, voidaan se ajatella olevan konfiguroitava elementti. Täten suurin osa standardoiduista konfiguroitavista elementeistä löytyy standardoidusta perusyksiköstä (Pakkanen 2015).

Jos standardiosaluetteloista ei pysty koostamaan geneeristä elementtiä, niin sitä ei voi ajatella moduuliksi, ilman että tehtäisiin suuria muokkauksia. Tässä tapauksessa voidaan joko jakaa elementtiä enemmän, vaihtaa elementin jaottelua tai vaihtaa teknistä ratkaisua. Jos näistä muokkauksista huolimatta standardoituja osia ei pysty käyttämään, niin geneerinen elementti ajatellaan uniikiksi elementiksi, joka ei ole osa tuoteperhettä. Yksi tapa parantaa yhtenevyyttä tuoteperheessä on käyttää samoja osia tai kokoonpanoja geneerisissä elementeissä, jotka palvelevat eri toiminnoissa (Pakkanen 2015).

Yhteenvetona tässä askelmassa saadaan mahdollisuus lisätä yhtenevyyttä olemassa oleviin tuotteisiin ja pienin määrä tarvittavia variaatioita kattamaan asiakastarpeet, jotka

juuri vaativat variaatioita. Tuloksena saadaan alustava rakenne tuoteperheelle, jonka linkkinä on asiakastarpeet, geneeriset elementit sekä osat ja kokoonpanot. Tämä askel yhdistää moduulijärjestelmän elementeistä osittelulogiikkaa, moduuliryhmiä ja konfigurointitietämystä (Pakkanen 2015).

3.8.6 Askel 6: Konfigurointitietämys: geneeriset elementit ja asiakastarpeet

Askeleessa 6 alustava konfigurointitietämys otetaan käsittelyyn. Tässä vaiheessa konfigurointitietämys sisältää geneeristen elementtien ja asiakastarpeiden suhteet, jotka johtuvat variaatioiden tarpeesta. Kuva 64 (LIITE F) selittää askeleen 6 ydinpiirteet (Pakkanen 2015).

Selkeä esitys konfigurointitietämyksestä voi olla hyödyllistä, kun muutoksia, päivityksiä tai täysin uutta versiota tuoteperheestä suunnitellaan tulevaisuudessa. Tämä askelma mahdollistaa moduulien suunnittelun askeleessa 7. ja viimeisen konfigurointitietämyksen muodostamisen askeleessa 8. Tämän askeleen tarkoituksena on siis määritellä mitä asiakastarvetta pitää pohtia, kun kutakin geneeristä elementtiä määritellään. Täten geneeristen elementtien tietämystä ja asiakaskontekstia tarvitaan tässä askeleessa (Pakkanen 2015).

Konfigurointitietämystä voidaan tässä askeleessa tutkia muokatuilla K- ja V-matriisityökaluilla. Työkalut on alun perin kehitetty Product Design Centre ETH Zürichissä. Muokattu työkalu perustuu kahteen eri tyyppiseen matriisiin, K-matriisi (konfigurointimatriisi⁷) ja V-matriisi (yhteensopivuusmatriisi⁸), joita Bongulielmi (2013) esittelee. Metodi sisältää neljä komponenttia. Asiakasnäkö on funktionaalien kuvaus tuotteesta asiakkaalle relevanteilla ominaisuuksilla, joita käytetään myyntiprosessissa. Tekninen näkö määrittelee tuotteen moduulit. K-matriisin kentät esittävät suhteet asiakkaan ja teknisen näkömön välillä. V-matriisin kentät määrittelevät ominaisuuksien yhteensopivuuden toistensa suhteen molemmissa tuotteen näkömissä. Suhteet K-matriisissa merkitään vain ”kyllä” (yhteys teknisen- ja asiakasnäkömön välillä on) tai ”ei” (yhteyttä ei ole) tyylin merkinnöin. Koska tekninen näkö ei tässä vaiheessa BfP:tä ole vielä määritelty tarkasti, voidaan käyttää monipuolisempia suhdemäärittelyjä. Muokatussa työkalussa voidaan käyttää seuraavia neljää eri tyyppistä suhdetyyppiä teknisen- ja asiakasnäkömön välillä (Pakkanen 2015):

- Asiakastarve vaatii geneerisen elementin
- Asiakastarpeelta puuttuu geneerinen elementti
- Asiakastarve ehkä vaikuttaa geneeriseen elementtiin
- Asiakastarve ei vaikuta geneeriseen elementtiin

⁷ ”Konfigurationsmatrix” saksaksi

⁸ ”Verträglichkeitsmatrix” saksaksi

Geneeriset elementit listataan matriisiin riveihin ja asiakastarpeet lisätään sarakkeisiin, jotka näkyvät kuvassa 36. Tämän listauksen jälkeen määritellään suhteet elementtien ja tarpeiden välillä edellä kuvatun suhdeluokittelun mukaisesti. Matriisin käytöstä voi toimia esimerkki, jossa yhtenä asiakastarveryhmänä voidaan ajatella eri tyyppisiä jousituksia, joita asiakkaat ovat pyytäneet heidän polkupyöriinsä. Tässä tapauksessa tämän ryhmän tarpeelle voidaan määritellä mahdolliset vaihtoehdot jousitustarvenäkökulmasta. Koska geneeristen elementtien tyyppi ja sisältö ei ole vielä määriteltä tarkasti ei löydy riittävää tietoa analysoida suhteita geneeristen elementtien ja asiakastarveryhmien välillä, että saataisiin syyt varioituvalle tuoteperheelle (Pakkanen 2015).

Modified K-Matrix (configuration knowledge matrix)

(1) Customer need requires generic element
 (2) Customer need excludes generic element
 (3) Customer need might affect generic element
 (empty cell) Customer need does not affect generic element

GENERIC ELEMENTS	CONTENT AND TYPE OF GENERIC ELEMENTS	CUSTOMER NEEDS									
		Customer need group 1	Customer need 1.1	Customer need 1.2	Customer need 1.3	Customer need group 2	Customer need 2.1	Customer need 2.2	Customer need group 3	Customer need 3.1	Customer need 3.2
Generic element 1											
Generic element 2									1		
Generic element 3		1				1					
Generic element 4						1					

Kuva 36. Esimerkki muokatusta K-matriisista alustavan konfigurointitietämyksen analysoimiseen. Matriisia käytetään organisoimaan geneeriset elementit ja asiakastarpeet, joita tarvitaan variaation näkökulmasta (Pakkanen 2015).

Tuloksena tässä askelmassa on selvitys siitä mitkä geneeriset elementit ovat yhteensopivia minkäkin asiakastarpeen kanssa. Tulosta tarvitaan moduulien ja rajapintojen määrittelemisessä askelmassa 7 ja lopullista konfigurointitietämystä määriteltäessä askelmassa 8. Askelmaa 7 varten tämä askel tuottaa tiedon, kun määritellään ratkaisua geneeriselle elementille. Kun ratkaisua mietitään pitää varmistaa, että ratkaisut (mahdollinen moduuli) ovat relevantteja asiakastarpeita. Askelmassa 8, moduulit ja muut tuote-elementtityypit lisätään matriisiin, joka tässä askelmassa aloitettiin. Näin lopullinen konfigurointitietämys mallinnetaan. Viiteen moduulijärjestelmän elementtiin suhteutettuna askelmassa 6 yhdistetään suunnitteluun konfigurointitietämyksen informaatioelementti (Pakkanen 2015).

3.8.7 Askel 7: Modulaariarkkitehtuuri: moduulit ja rajapinnat

Modulaarinen arkkitehtuuri on tärkeä elementti modularisaatiossa, koska se mahdollistaa suurimmat konfiguroinnin hyödyt. Tässä askelmassa modulaarisen tuoteperheen moduulien ja rajapintojen rakenne määritellään tarkemmalla tasolla. Ennen kuin moduulit voidaan määritellä tarkemmin pitää geneeristen elementtien tyypit selvittää. Tämä

tarkoittaa, että tässä askelmassa pitää tunnistaa arkkitehtuurista standardoidut, konfiguroitavat, osittain konfiguroitavat ja uniikit elementit. Kuva 65 (LIITE G) selventää askeleen 7 pääsisällön (Pakkanen 2015).

Tämä askelman toteuttamista ennen pitää tietää minkälaisia vaatimuksia ja rajoituksia tuoteperheen rakenteelle löytyy yleisellä tasolla ja minkä geneeristen elementtien välillä on rajapintoja. Tarkemmin sanottuna mitä mahdollisuuksia osien standardointiin ja minkälainen tuoteperheen arkkitehtuuri on. Aikaisemmat BfP:n vaiheet ovat tähdänneet jakamaan tuoteperheen hahmottelun hallitaviin tehtäviin (Pakkanen 2015).

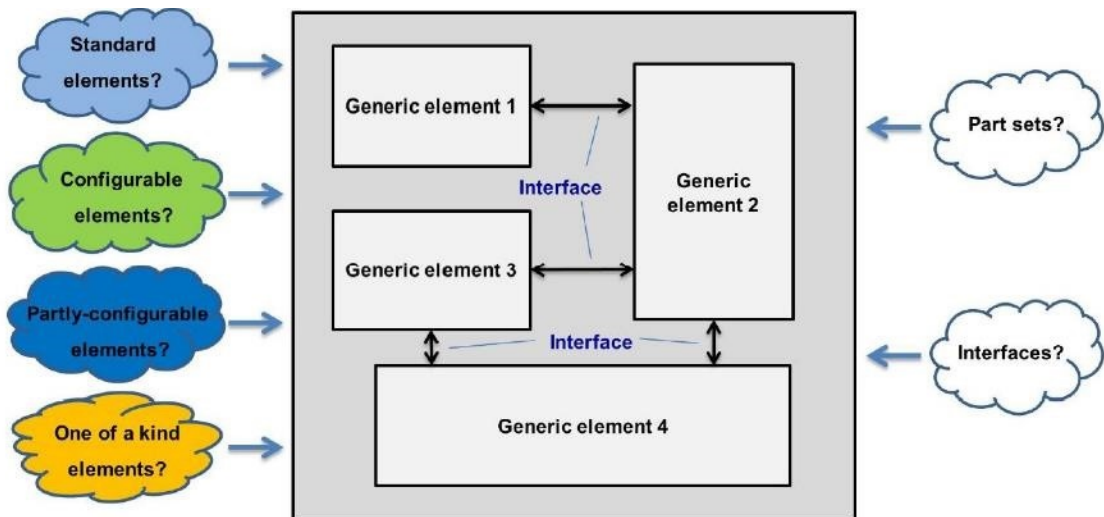
Arkkitehtuurin tarkemman suunnittelun alussa BfP:ssä ehdottaa tunnistamaan eri tuote elementtityypit geneerisessä arkkitehtuurissa, joita käsitellään askelmassa 3. Tuotteen elementtityypit perustuvat osittain konfiguroitavan tuotteen tuoterakenteen yleiseen malliin, jonka on esitellyt Juuti (2008), ja joka käytiin tarkemmin läpi kappaleessa 3.5. Yleinen malli on kuvassa 19. Tämän askelman tarkoituksena on tunnistaa mitkä geneerisistä elementeistä ovat standardeja, konfiguroitavia, osittain konfiguroitavia tai uniikkeja (toimitusspesifejä, projektispesifejä), BfP:ssä ymmärretään, että standardielementti on sama tuoteperheen joka variantissa. Konfiguroitava elementti sisältää standardoidun variaation vaihtoehdon.

Uniikkielementti on kompromissi, jos standardi tai konfiguroitava elementti ei ole määriteltävissä jollekin tuoteperheen osa-alueelle. Tämän jaon mukaisesti tuoteperhe ei olisi täysin konfiguroitava, kun se sisältää yhdenkin uniikin elementin täyttämään asiakastarpeen järkevällä tavalla standardoitujen elementtien ja moduulien lisäksi. Tästä on tuloksena osaksi konfiguroitavat rakenteet. Uudelleenkäytön näkökulmasta on luonnollista välttää toimitusspesifejä elementtejä, koska ne toimivat eritavoin myynti-toimitusketjussa niiden toimituskohtaisen suunnittelun takia (Pakkanen 2015).

Tarkoitus on tunnistaa eri elementit arkkitehtuurista, määritellä osakokonaisuudet geneeriseen elementtiin ja selventää yleisarkkitehtuuri tuoteperheelle, joka sisältää rajapintamäärittelyn, kuten kuvassa 37 on esitetty (Pakkanen 2015).

Yleisesti puhuttaessa varioitavista tuotteista päätarkoituksena on sisältää standardiratkaisuja mahdollisimman paljon ja minimimäärän vaihtokelpoisia standardoituja moduuleita variaatiota tarvitsevilla ratkaisuilla. Elementtien rajapinnat pitää myös standardoida, että variointi olisi tehokasta (Pakkanen 2015).

Jos variaatiotarve ei ole asiakasnäkökulmasta yhteydessä geneeriseen elementtiin ja elementti voidaan tehdä yhdellä ratkaisulla, on elementti hyvä **standardielementti**. Tällainen elementti löytyy jokaisesta tuoteperheen tuotevariantista. Standardielementin osakokonaisuus valitaan tai uudelleensuunnitellaan tarvittaessa olemassa olevaan osakokonaisuuteen perustuen. Standardointi on yhteydessä myös rajapintoihin tuoteratkaisuissa tukemaan niiden vaihdettavuutta ja itsenäisyyttä (Pakkanen 2015).



Kuva 37. Geneerinen elementti ja niiden rajapinnat pitää määritellä tarkasti (Pakkanen 2015).

Geneerisen elementin suunnittelu modulaariseen tuoteperheeseen on haastavaa, mikäli variointia pitää miettiä asiakas- ja liiketoimintatarpeiden kannalta. On yrityksen kannalta hyödyllistä, jos variaatiotarpeet voidaan täyttää minimimäärällä standardeja moduuleita, koska tämä tukee uudelleenkäyttöä suunnittelussa (Juuti 2008). Voi olla mahdollista suunnitella yksittäinen standardiratkaisu täyttämään erilaiset tarpeet, mutta sellainen elementti tulee yleensä liian kalliiksi valmistaa. Sellainen ratkaisu pitäisi sisältää kaikki tarveratkaisut, jolloin vain osaa potentiaalisesta suorituskäytöstä voidaan käyttää asiakasvariantissa (Pakkanen 2015).

Kun yksittäinen standardiratkaisu ei ole järkevä variointitarpeelle, kannattaa harkita vaihtokelpoisia moduulisettejä, jotka on standardoitu yrityksen ja tuoteperheen sisällä. Tällainen on **konfiguroitava elementti** (Pakkanen 2015).

Jos järkevää määrää standardoituja moduuleita ei voida määritellä geneeriseksi elementiksi, vaikka geneerinen elementti jaetaan, osasto tai ratkaisuperiaate vaihdetaan, niin tällaisesta voi tulla **osaksi-konfiguroitava elementti**, joka voi sisältää **uniikkiin elementin** sekä lisäksi standardoidun sekä konfiguroitavan osaston (Pakkanen 2015).

Jos geneerisen elementin uudelleenrakentaminen ei auta löytämään standardoituja mahdollisuuksia, voi se olla uniikkielementti. Nämä ovat aina kompromisseja, eikä ole tarkoituksen mukaisia modularisaatiossa, koska ne eivät tue uudelleensuunnittelun hyötyjä. Toisaalta ei ole järkevää uudelleensuunnittelun hyötykäyttöä, jos vaihtokelpoiset moduulit pienien myyntimäärien markkinoilla tulevat todella monimutkaisiksi ja jotka olisi järkevämpää toteuttaa uniikkeilla elementeillä jokaista harvaa tapausta kohden (Pakkanen 2015).

Kun tiedetään vaatimukset, jotka perustelevat variaatiotarpeen ja vaatimuksien suhteet tiettyyn geneeriseen elementtiin (tätä tutkitaan alustavasti askeleessa 6), voidaan analysoida sopiva määrä **osakokonaisuuksia** tai ratkaisuja. Tähän ratkaisuun perustuen voidaan tunnistaa seuraavat asiat (Pakkanen 2015):

1. Olemassa oleva ratkaisu ja osakokonaisuus, jotka ovat yhteydessä tiettyyn geneeriseen elementtiin täyttää variaatiotarpeen hyvin. Selvä ja erilainen variaatiotarve on yhteydessä olemassa olevaan ratkaisuun ja osakokonaisuus sisältää samanlaiset rajapinnat. Täten olemassa oleva osa on perusteltu
2. Löytyy liian monta osakokonaisuutta erilaisilla rajapinnoilla, jotka ovat yhteydessä tiettyyn geneeriseen elementtiin sopien määriteltyyn variaatiotarpeeseen. Täten osakokonaisuuksien määrää pitää vähentää esimerkiksi tarpeettomuus, päällekkäisyys ja kustannustekijöiden johdosta.
3. Ei löydy tarpeeksi osakokonaisuuksia tiettyyn geneeriseen elementtiin liittyen, joka kohtaa määritellyn variaatiotarpeen. Tämä tarkoittaa, että uutta osakokonaisuutta tarvitaan.

BfP:n käytön tavoitteena on pohjimmiltaan saada tilanne kehitettyä siihen pisteeseen, että pystytään pienimmällä mahdollisella määrällä osakokonaisuuksia tai ratkaisuja täyttämään asiakastarpeet. Jos jokaiselle variaatiotarpeelle on aina omat osakokonaisuutensa, se ei ole ollenkaan ideaalitalanne (Pakkanen 2015).

Tuoteperhettä suunniteltaessa ei ole vain tärkeää löytää sopiva ratkaisu jokaiselle variaatiotarpeelle, mutta yleinen tuoteperheen arkkitehtuuri pitää ottaa harkintaan. Jokainen geneeriseen elementtiin liittyvä osakokonaisuus pitää analysoida, jotta varmistetaan, olisiko mahdollista löytää samanlainen **rajapinta** muiden geneeristen elementtien osakokonaisuuksista (Pakkanen 2015).

Standardoidut rajapinnat ovat pääroolissa, kun tuoteperheen modulaarista arkkitehtuuria suunnitellaan. Standardirajapinnat mahdollistavat siis moduulien vaihtokelpoisuuden sekä itsenäisyyden. Kuten askelmassa 3 on todettu, tuotteen tai tuoteperheen arkkitehtuurin luonnostelu auttaa tunnistamaan tärkeät rajapinnat. Rajapintojen standardointi ja määrittely mahdollistaa moduulivarianttien suunnittelun tuoteperheelle. Määrittely selittää minkälaisia rajoitteita moduulien pitää täyttää (Pakkanen 2015).

Yhteenvetona tässä askelmassa määritellään tuoteperheen modulaarinen arkkitehtuuri. Tämä arkkitehtuuri määrittelee minkälaiset elementit ja rajapinnat tuoteperheessä on. Täten tämä askel yhdistää arkkitehtuurin, moduulit ja rajapinnat moduulijärjestelmän informaatioelementeiksi. Tuloksena saadaan selvennys lopulliseen konfiguraatietietämykseen, joka on oleellinen tuotevarianttien määrittelemisessä tehokkaasti asiakastarpeiden pohjalta. Tästä askelmasta saadaan myös tieto, jota tarvitaan tuoteperhedokumentoinnissa ja arvioitaessa tuoteperheen liiketoimintavaikutuksia (Pakkanen 2015).

3.8.8 Askel 8: Konfigurointitietämys: moduulivariantit ja asiakastarpeet

BfP:n askelmaan 8 kuuluu konfigurointitietämyksen määrittäminen. Konfigurointitietämys käsitellään askelmassa 6, mutta siinä määrittelemisen liittyi geneeriseen elementtiin ja asiakastarpeisiin. Tässä askelmassa tietämys määritellään käyttämällä todellisia ratkaisuja geneerisille elementeille, jotka määriteltiin edellisessä askelmassa. Kuva 66 (LIITE H) kokoo tämän askelman yhteenvedon (Pakkanen 2015).

Tämä askel on tärkeä, koska tässä tulokseksi saadaan selkeä kuvaus siitä mikä tekninen ratkaisu kohtaa minkäkin asiakastarpeen kanssa. Konfigurointitietämys sisältää viimeisen ratkaisun siitä mikä auttaa määrittelemään variantit myöhemmässä myyntitoimitusprosessissa. Tämän askelman esitys antaa yleiskuvan suunniteltavasta tuoteperheestä ja auttaa kun arvioita liiketoimintavaikutuksia tehdään (Pakkanen 2015).

Tässä askelmassa tehdään samoin kuin askelmassa 6. Geneeristen elementtien ratkaisut ja alustava konfigurointitietämys tarvitaan edellisiltä askelmilta lähtötiedoiksi. Askelmaan 6 verrattuna geneeristen elementtien sisältö ja tyyppi sekä näiden yhteys asiakastarpeisiin lisätään nyt matriisiin. Esimerkkipohja tuloksista nähdään kuvassa 38 (Pakkanen 2015).

Yhteydet geneeristen elementtien, niiden sisällön ja asiakastarpeiden välillä voidaan määritellä neljästä perspektiivistä (Kuva 38, vas. yläkulma). Kuva ei kuitenkaan kerro miksi jokin yhteys tietynlainen. Siksi voisi olla hyvä kommentoida jokainen yhteys erikseen, jolloin kommentaista voisi olla apua tuoteperheen tulevaisuuden kehityksissä (Pakkanen 2015).

Modified K-Matrix (configuration knowledge matrix)

(1) Customer need requires generic element / solution
 (2) Customer need excludes generic element / solution
 (3) Customer need might affect generic element / solution
 (empty cell) Customer need does not affect generic element / solution

GENERIC ELEMENTS	CONTENT AND TYPE OF GENERIC ELEMENTS	CUSTOMER NEEDS											
		Customer need group 1			Customer need group 2			Customer need group 3			Customer need group 4		
Generic element 1	Solution "Alpha" (Standard element)												
Generic element 2	Solution "Beta" (Configurable element) Solution "Zeta" (Configurable element) Solution "Theta" (Configurable element)						1						
Generic element 3	Solution "Iota" (One of a kind element)	1			1								
Generic element 4			1	1		1	1						

Kuva 38. Täydellinen konfigurointitietämys modulaarisesta tuoteperheestä on esitetty käyttämällä samaa matriisia kuin askelmassa 6. Nyt geneeristen elementtien sisältö ja tyyppi on lisätty matriisiin. Sen jälkeen tarkempi konfigurointitietämys voidaan määritellä matriisiin (Pakkanen 2015).

Tässä askelmassa geneeristen elementtien, niiden sisällön ja asiakastarpeiden yhteyttä voidaan myös visualisoida, johon on oma matriisityökalunsa. Jo aiemmin mainittua V-matriisityökalua voidaan käyttää myös tässä. Molemmat rivit ja sarakkeet sisältävät geneeriset elementit ja niiden sisällöt. Esimerkki V-matriisista löytyy kuvasta 39.

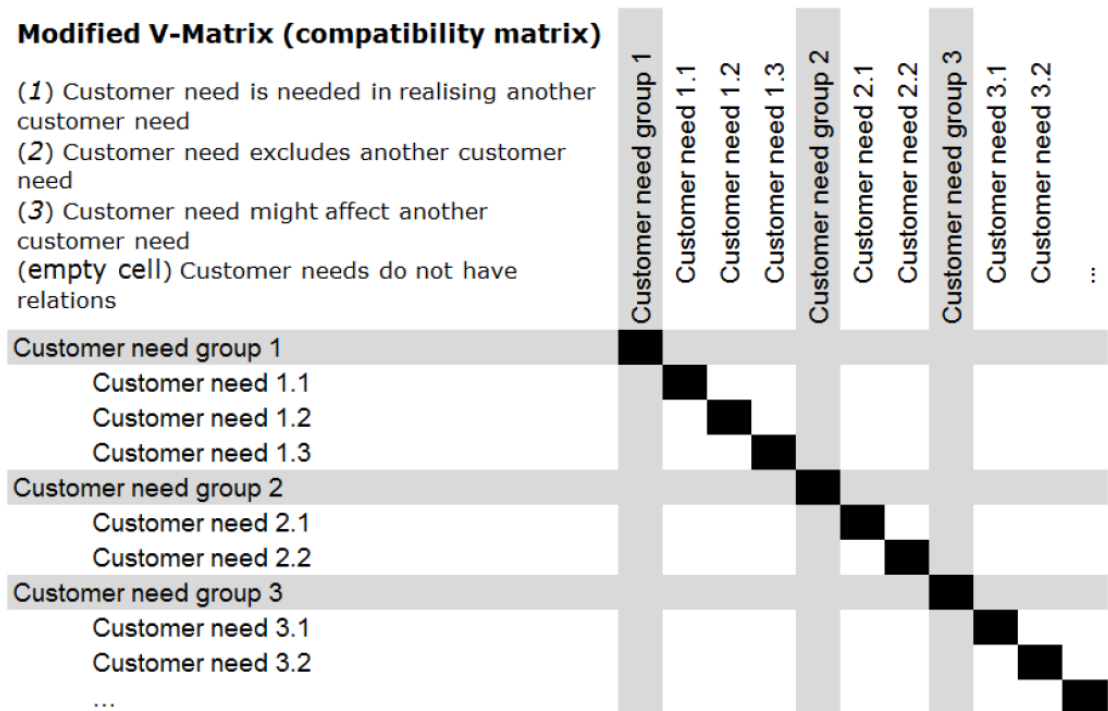
Modified V-Matrix (compatibility matrix)

- (1) Solution requires another solution
- (2) Solution excludes another solution
- (3) Solution might affect another solution
- (empty cell) Solution pairs do not have relations

	Generic element 1	Solution "Alpha" (Standard element)	Generic element 2	Solution "Beta" (Configurable element) Solution "Zeta" (Configurable element) Solution "Theta" (Configurable element)	Generic element 3	Solution "Iota" (One of a kind element)	Generic element 4	...
Generic element 1								
Generic element 2								
Generic element 3								
Generic element 4								
...								

Kuva 39. Matriisiesimerkki yhteensopivuuksien määrittämiseen geneeristen elementtien ja niiden ratkaisujen välillä, nämä periaatteet on esittänyt Bongulielmi (2013) (Pakkanen 2015).

Yhdistävät kombinaatiot määritellään matriisissa. Matriisissa on standardielementit ja myytävät optiot, jotka ymmärretään asiakastarpeina. Asiakastarpeet luovat siis variointitarpeen. Matriisien hyöty on niiden helppolukuisuus, kunhan lukija tietää mitkä elementit tai parit pitää analysoida. Jos luodaan konfiguraattori, pitää löytyä tieto asiakastarpeen yhteensopivuudesta. Tämä tarkoittaa sitä, että jos asiakas valitsee jonkin vaihtoehdon, voi se sulkea toisen vaihtoehdon pois. Hyvin tehty konfiguraattori ohjaa asiakasta valitsemaan teknisesti oikeat vaihtoehdot. Asiakastarpeiden yhteensopivuuden määrittämisestä on matriisi kuvassa 40, joka on yhtenevä ulkoasultaan matriisin kuvan 39 kanssa (Pakkanen 2015).



Kuva 40. Matriisiesimerkki yhteensopivien asiakastarpeiden määrittämiseen, periaatteet on esittänyt Bongulielmi (2013) (Pakkanen 2015).

Yhteenvetona askelman 8 tuloksena saadaan havainnollistava yhteensopivuusratkaisu ja asiakastarveparit. Ne saadaan selittämällä mikä moduulivariantti on yhteensopiva minkäkin tietyn asiakastarpeen kanssa. Jos tässä askelmassa käy ilmi, että määritelty asiakastarve ei kata tärkeää yrityksen markkinarakoa, johtaa se takaisin modulaarisen tuoteperheen arkkitehtuurin suunnittelun iterointikierrokselle ja paluun edellisiin BfP:n askelmiin (Pakkanen 2015).

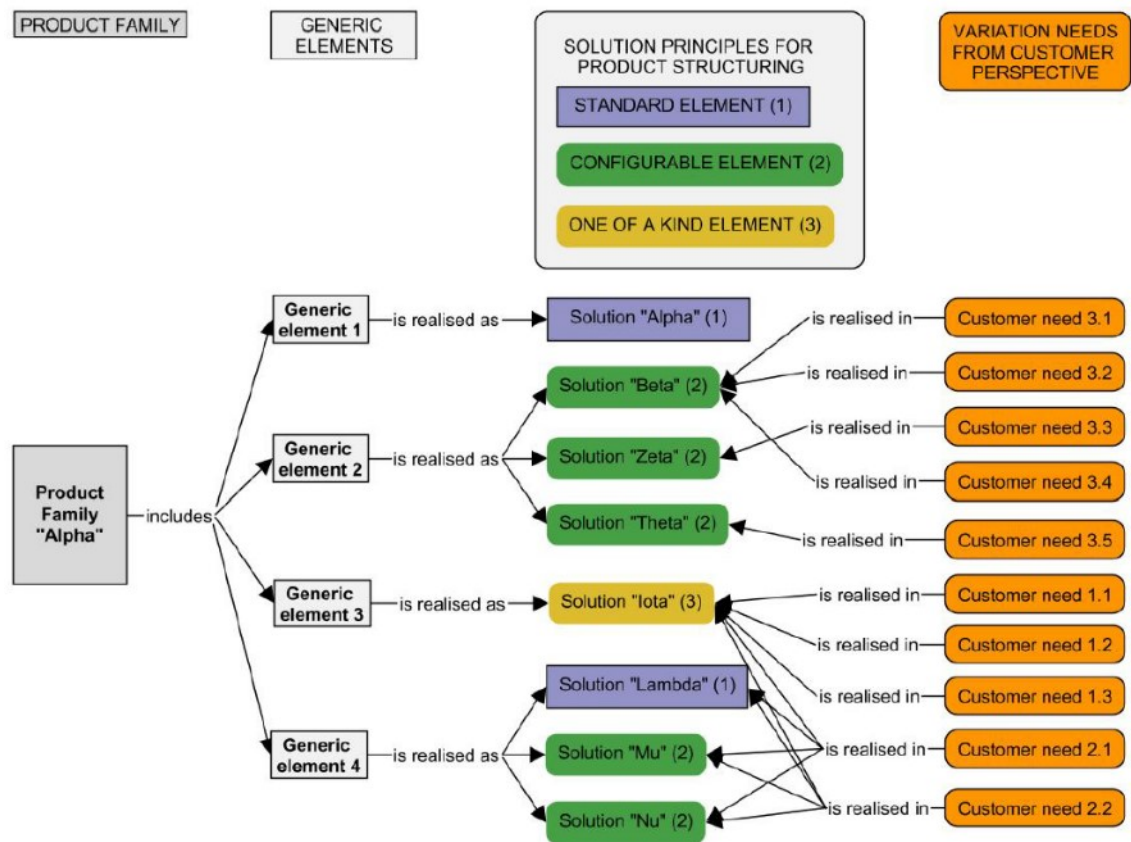
3.8.9 Askel 9: Tuoteperheen dokumentointi

Kun perusrakennetta modulaariselle tuoteperheen konfiguroitaville tuotteille määritellään, aikaisemmissa askelmissa muistetaan dokumentoida tulokset jokaisessa askelmassa erikseen. Lisäksi prosessi sisältää erillisen dokumentointiaskelman (tämä askelma), jossa dokumentointi mietitään suunnittelun perusteluketjun näkökulmasta. Dokumentointi tähtää kuvaamaan tuoteperheen sisällön ja selittämään mikä asiakastarve vastaa mitäkin elementtiä ja ratkaisua. Askelman 9 pääsisältö näkyy kuvassa 67 (LIITE I) (Pakkanen 2015).

BfP:ssä suositellaan käyttämään dokumentointiin Product Structuring Blue Print (PSBP). Tämä tähtää esitykseen tuoteperheen osittelulogiikasta ja suunnittelun perustelunäkökulmista. Yleinen esimerkki tästä esityksestä näkyy kuvassa 41. Kuvan vasemmassa reunassa on kyseessä oleva tuoteperhe. Oikealle liikuttaessa tulee vastaan geneeriset elementit. Sitten on ratkaisuperiaatteet, jotka kuvaavat miten geneeriset elementit ovat realisoitu. Tässä kuvan 41 esimerkissä nähdään realisoituneet geneeriset

elementit, jotka voivat sisältää useita ratkaisuperiaatteiden tyyppejä. Tässä yleisessä PSBP:n mallissa löytyy kolme eri tuotestrukturointi taktiikkaa. Tässä esimerkissä ratkaisuperiaatteita voi olla standardi, konfiguroitava (joka perustuu standardoituihin vaihtoehtoisiin moduuleihin) tai uniikkeihin elementteihin. Jos nämä kaikki vaihtoedot esiintyvät, voidaan tuoteperheen ajatella olevan osaksi konfiguroitava. Lopuksi kuvaajan oikeassa reunassa löytyy variaatiotarpeet asiakasnäkökulmasta tarkasteltuna, jotka ovat linkitettyinä vastaavan geneerisen elementin ratkaisuun (Pakkanen 2015).

Kuvasta 41 nähdään, että esim. geneerinen elementti 2 realisoituu ratkaisulla ”Beta”, ”Zeta” ja ”Theta”, jotka ovat vaihtoehtoisia konfiguroitavia elementtejä ja ne toteuttavat asiakastarpeet 3.1 – 3.5 (Pakkanen 2015).



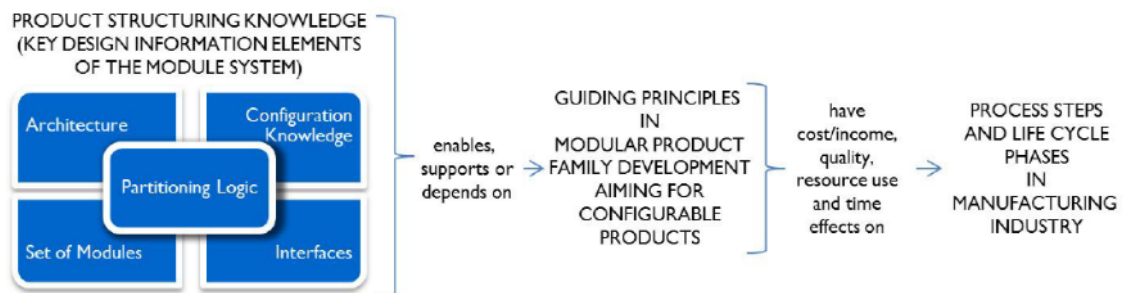
Kuva 41. PSBP dokumentointi visualisoi tuoteperheen päättelyketjun (Pakkanen 2015)

Yhteenvetona PSBP dokumentointi voi olla auttavana tukena suunnittelutyössä ja suurenevissa määrin suunnittelun uudelleenkäytössä, koska se tekee tuoteperheen sisällön perustellusti näkyville. Dokumentointi on tärkeää, koska tuoteperheeseen tehdään muutoksia teknologian kehittymisen tai variaatiotarpeen muuttumisen vuoksi (Pakkanen 2015).

3.8.10 Askel 10: Liiketoimintavaikutusanalyysi

Juutin (2008) mukaan variaation huomioiminen tuotteiden yhtenevyyden tavoittelussa on tapa lisätä kilpailukykyä yrityksessä, jos se pyrkii toimittavansa tuotteitaan eri asiakastarpeisiin. Tuotekehityksen analysoiminen on tärkeää ymmärryksen saavuttamisessa siitä, miten hyvin tavoitteisiin on vastattu suunnitellulla ratkaisulla ja milloin uusi tuoteperhe-ehdotus voisi olla kilpailukykyinen. BfP:ssä tehdään arvio modulaarisen tuoteperheen liiketoimintavaikutuksista eri elinkaarivaiheiden suhteen. Tämän askelman liiketoimintavaikutusanalyysin yhteenvedo nähdään kuvasta 68 (LIITE J) (Pakkanen 2015).

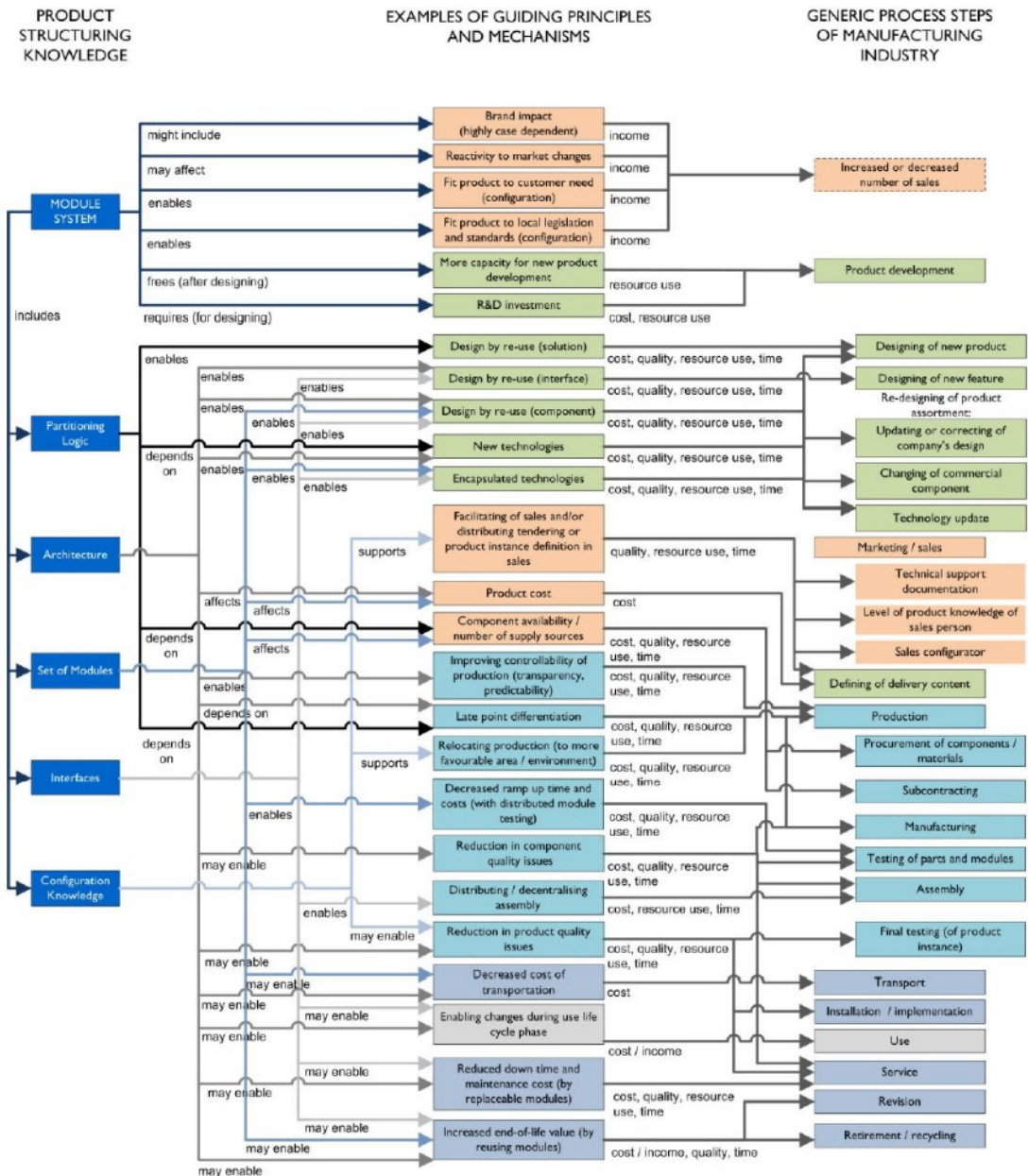
Liiketoimintavaikutusanalyysin perusidea nähdään kuvassa 42 ja yleismalli kuvassa 43. Analyysin mallissa tuote määritellään käyttämällä erilaisia määrittäjä tai mittoja; tunnistetut mekanismit eivät ole täysin samanlaisia ja voi löytyä muitakin vaikutuksia kuin kustannukset ja aika (Pakkanen 2015).



Kuva 42. Liiketoimintavaikutusanalyysimallin pääidea BfP:ssä (Pakkanen 2015).

Kuvan 43 vasemmassa laidassa on tuotenäkymä, joka sisältää moduulijärjestelmän. BfP:ssä osittelulogiikka, arkkitehtuuri, moduulisetit, rajapinnat ja konfigurointitietämys tunnistetaan tärkeiksi suunnitteluinformaation elementeiksi modularisaatiossa. Tällainen osastojen jako viiteen elementtiin voi auttaa ymmärtämään minkälaista informaatiota pitää miettiä, kun modulaarista tuoteperhettä suunnitellaan. BfP:n pyrkii määrittelemään näiden viiden elementin sisältöä ja jokainen askel pyrkii yhdistämään yhden tai useamman elementin moduulijärjestelmään (Pakkanen 2015).

Ohjaavat periaatteet ja mekanismit esitetään kuvan 43 keskellä. Nämä periaatteet kuvaavat mahdolliset kohteet, ilmiöt ja ongelmat, joita modularisaatiossa voi olla. Tällaiset moduuliohjaimet, ohjausperiaatteet tai mekanismit tähtäävät heijastamaan syysuhteita tuotteen modulaarirakenteen ja liiketoimintatavoitteiden välillä (Pakkanen 2015).



Kuva 43. Moduulijärjestelmän liiketoimintavaikutuksen arviointimalli. Tässä askelmassa ohjaavat periaatteet ja mekanismit on käyty läpi ja niiden mahdolliset kustannukset, tulot, laatu, resurssien käyttö ja ajan vaikutus rahassa mitattuna on arvioitu prosessin askelmiin yhteyteen (Pakkanen 2015).

Kuvassa 43 on mallinnettu suhteet tuotteen jäsentämistietouden ja ohjaavien periaatteiden sekä mekanismien välille. Suhteet kuvaavat periaatteessa sitä millä moduulijärjestelmän elementillä saattaisi olla vaikutusta mihinkäkin ohjaavaan periaatteeseen ja mekanismiin. Kaikki viisi moduulijärjestelmän elementtiä ovat tarpeellisia tuotekehittäessä rationaalinen modulaarinen tuoteperhe, mutta liiketoimintavaikutusanalyysin mallissa yritetään määritellä kaikista tärkein moduulijärjestelmän elementti jokaiselle ohjaavalle periaatteelle ja mekanismille (Pakkanen 2015).

Kuvan 43 oikeassa reunassa määritellään yleiset prosessiaskleet valmistavaan teollisuuteen. Tässä mallissa prosessin askeleisiin sisältyvät tuotekehitys, markkinointi ja myynti, tuotanto, kuljetus, asennus & implementointi, käyttö, huolto, revisiointi ja poisto/kierrätys. Tuotekehitys voi sisältää uuden tuotteen, ominaisuuden tai olemassa olevan tuotteen uudelleensuunnittelua päivitysten, korjausten tai osavaihtojen takia. Markkinointia ja myyntiä tukevat elementit on selitetty myös kuvassa. Tärkeänä asiana on tukeva dokumentointi ja informaatiojärjestelmä sekä tietty tuotetietotaso, joka myyntihenkilöllä pitää olla. Tämä siitä syystä, että modularisaatiolla voi olla tärkeitä vaikutuksia näille alueilla. Tuotanto sisältää osien ja materiaalien hankinnan, mahdolliset alihankintasopimukset, oman valmistamisen, osien testaamisen, moduulien ja lopputuotteen kokoonpanon (Pakkanen 2015).

Kuvan 43 yläreunassa on moduulijärjestelmä ja siihen liittyvät ohjaavat periaatteet sekä mekanismit. Moduulijärjestelmä voi vaikuttaa bränditietouteen ja markkinamuutosten reagointikykyyn. Se mahdollistaa yritystä saamaan sopivia tuotteita asiakastarpeisiin ja, että ne ovat lakien ja asetusten mukaisia. Se vapauttaa myös kapasiteettia uuden tuotteen suunnitteluun ja vaatii tuotekehitysinvestointeja. Nämä mekanismit erityisesti vaikuttavat myyntiin ja tuotekehitykseen (Pakkanen 2015).

Samaan kuvaan viitaten osittelulogiikka mahdollistaa suunnittelun uudelleenkäytön (ratkaisu). Osittelulogiikka on riippuvainen uudesta teknologiasta, komponenttien saatavuudesta ja viimekäden muutoksista. Nämä vaikuttavat suunnittelun ja tuotannon näkökulmiin (Pakkanen 2015).

Arkkitehtuuri mahdollistaa suunnittelun uudelleenkäytön (rajapinta ja komponentti) ja uudet teknologiat. Se vaikuttaa tuotteen hintaan ja mahdollistaa paremman tuotannon hallinnan (läpinäkyvyys, ennustettavuus) sekä on riippuvainen viimekäden muutoksista. Arkkitehtuuri voi vaikuttaa yksittäisten komponenttien ja tuotteen laatuerojen vähenemiseen, vähentää kuljetuskustannuksia, mahdollistaa muutoksia tuotteen elinkaaren aikana, vähentää huoltoaikoja ja -kustannuksia (vaihdettavien moduulien johdosta) sekä lisätä tuotteen loppukäyttöarvoa (moduulien uudelleenkäyttö). Nämä ohjaavat periaatteet ja mekanismit voidaan linkittää useisiin prosessiaskelmiin, kuten kuvasta 43 nähdään (Pakkanen 2015).

Moduuliryhmät mahdollistavat suunnittelun uudelleenkäytön (komponentit) ja teknologian koteloinnin sekä ylösajoajan sekä kustannuksien vähentämisen (moduulien testeissä). Moduuliryhmät vaikuttavat tuotteen hintaan sekä komponenttien saatavuuteen sekä toimittajalähteisiin. Se voi vähentää kuljetuskustannuksia sekä lisätä loppukäyttöarvoa (moduulien uudelleenkäyttö), kuten arkkitehtuurikin. Näillä mekanismeilla on myös yhteyksiä useisiin prosessin askelmiin (Pakkanen 2015).

Rajapinnat mahdollistavat suunnittelun uudelleenkäytön (rajapinnat ja komponentit), uudet teknologiat ja teknologian koteloinnin sekä kokoonpanojen valmistamisen

jakelun/keskittämisen. Rajapinnat voivat tarjota mahdollisuuden muutoksille elinkaaren aikana, vähentää huoltoaikaa sekä kustannuksia (moduulien vaihtaminen) sekä lisätä tuotteen loppukäyttöarvoa (moduulien uudelleenkäyttö). Nämä periaatteet ja mekanismit vaikuttavat suunnitteluun, kokoonpanoon, käyttöön, huoltoon, revisiointiin ja tuotteen loppukäyttövaiheisiin (Pakkanen 2015).

Konfigurointitietämys tukee myynnin järjestelyä, tarjousten tekoa ja tuote-esimerkkien määrittämistä sekä tuotannon uudelleenjärjestämistä (edullisempi alue/ympäristö). Konfigurointitietämys voi saada aikaan tuotteen laatuongelmien vähentymistä. Nämä siis vaikuttavat myyntiin, tuotantoon (myös testaus), asennukseen/käyttöönottoon ja huoltoon (Pakkanen 2015).

Liiketoimintavaikutusanalyysin tuloksena on arvio menestyksekkään modulaarisen tuoteperhesuunnittelunprojektin vaikutuksista. Se siis esittää arvion moduulijärjestelmän suurimmista hyödyistä. Analyysin tekemisen edellytys on, että modulaarisen tuoteperheen suunnitteluprojekti ja operatiivisen puolen suunnittelu onnistuvat. Operatiivisiin seikkoihin BfP ei ota kantaa, mistä johtuu se, että liiketoimintavaikutusanalyysin tulos on kaikista positiivisin arvio prosessista. Ei ole siis varmaa onko se saavutettavissa. BfP:n tulkinta on, että liiketoimintavaikutusanalyysi tehdään rahassa mitaten käyttäen ”kymmenyksiä” (tuhat, kymmenen tuhatta, satatuhatta jne.), koska analyysi tarkoilla arvoilla voi olla haastavaa. Mutta on huomioitavaa, että kun arvioidaan ”kymmenyksillä”, suurimmat kymmenykset ovat määrääviä arvioitaessa analyysin tuloksia. Arvioitavana oleva aikaikkuna pitää olla riittävän pitkä, jotta kaikki elinkaarivaiheet voidaan huomioida, kuten revisioinnit. Tuotteiden toimitusmäärät pitää olla myös yhtä tai kahta suurempia, jotta arvio on mielekäs (Pakkanen 2015).

Prosessiin liittyvät ohjausperiaatteet ja -mekanismit analysoidaan yksitellen tässä askelmassa, mutta aina kaikki niistä ei ole merkityksellisiä jokaisessa liiketoimintatapauksessa. Vain askelman 1 tavoitteet otetaan tässä liiketoimintavaikutusanalyysissä huomioon. Joskus modulaarisuuden vaikutuksia arvioitaessa, jotkin alueet ovat liian vähän tiedossa, jolloin analyysiä ei voida tehdä. Analyysissä on tarkoitus tarkastella tuoteperheettä yhtenä kokonaisuutena, jonka yleiset tavoitteet on asetettu prosessin alussa. Jos suunniteltu tuoteperhe sisältää toisistaan tyystin poikkeavia alueita on järkevää analysoida nämä erillään, että analyysi on järkevä. Tämä askel voi siis paljastaa myös pitääkö tuoteperheen osittelulogiikkaa ja arkkitehtuuria harkita uudelleen. Tätä askelmaa voidaan käyttää myös tuoteperhesuunnitteluprojektin uudelleenmaksuajan arviointiin (Pakkanen 2015).

3.8.11 BfP:n yhteenveto

Kuva 69 (LIITE K) esittää BfP:n yhteenvedon eri askelmien suhteet vaadittavine ja saatavine suunnitteluinformaatioelementteineen. Kuvassa on koottuna BfP:n askelmat, suunnitteluinformaatioelementit määriteltynä, ja mihin moduulijärjestelmän

pääelementtien tulokset ovat yhteydessä. Ulkoiset suhteet on selitetty askelmille 1 ja 4, koska niille ne ovat muita askelmia tärkeämpiä. Kuva 69 ei selitä käytettäviä työkaluja tai lähestymistapaa joka askelmalle, mutta tähtää korostamaan tarvittavan ja saatavan suunnitteluinformaatiotiedon (Pakkanen 2015).

3.9 Suunnitteluun vaikuttavat ulkoiset rajoitteet

Tässä työssä käsiteltäviä irtohöyrystinsuunnitteluun vaikuttavia ulkoisia rajoitteita ovat ATP-sopimus sekä lämpötilansäätölaitteissa käytettävän kylmäaineen käyttöön vaikuttava GWP-arvoa tiukentava EU-säädös.

3.9.1 ATP-sopimus

YK:n Euroopan talouskomission eli United Nations Economic Commission for Europe (UNECE) on yksi viidestä alueellisista komissioista, jota johtaa Economic and Social Council (ECOSOC) eli talous- ja sosiaalineuvosto. UNECE on 57 maan muodostama foorumi, yhteistyön työkalu. Komissio tarjoaa alueelliset puitteet yleissopimuksien, normien ja standardien laatimiseksi ja yhdenmukaistamiseksi. Se on perustettu 1947 mandaatilla auttamaan sodanjälkeisen Euroopan jälleenrakentamista, kehittämään taloudellisia aktiviteetteja ja vahvistamaan taloudellisia suhteita Euroopan valtioiden sekä muun maailman kesken. Kylmän sodan aikaan UNECE palveli uniikkina foorumina taloudellisessa dialogissa yhteistyössä idän ja lännen välillä. Monimutkaisista vaiheista huolimatta merkittäviä saavutuksia on tehty ja harmonisoituja ja standardoituja sopimuksia on saatu aikaiseksi. Yksi näistä sopimuksista on ollut 1970 alullepantu ATP-sopimus. Sopimus on tullut voimaan marraskuun 21. päivä 1976. ATP-sopimus on siis helposti pilaantuvien elintarvikkeiden kansainvälisiä kuljetuksia ja tällaisissa kuljetuksissa käytettävää erityiskalustoa koskeva sopimus, jonka lyhennys ”ATP” tulee siis sopimuksen ranskankielisestä nimestä⁹. ATP-sopimus päivitetään säännöllisesti Euroopan sisämaan liikennekomitean talouspoliittisen komitean pilaantuvien ruokatarvikkeiden työryhmässä (Working Party on the Transport of Perishable Foodstuffs (WP.11) of the Economic Commission for Europe’s Inland Transport Committee) (ATP Agreement 2016).

Sopimus määrittelee tarkoin minkälaiset ovat elintarvikkeiden kuljetusvälineen vaatimukset, miten ja kuinka usein kuljetusväline laitteistoineen on testattava. Testit määrittelevät mm. mihin eristävyysluokkaan kori kuuluu ja jonka mukaan voidaan antaa eristävyysluokanmukainen hyväksyntä. Sopimus esittää korin eristävyysmittausmenetelmät yksityiskohtaisesti laskentakaavoineen (kaavat (1), (2) ja (3)) sekä mittauspisteineen. Tämä takaa jokaisen sopimuksen ratifioineen maan testauslaitoksen yhtenäisen mittauksen ja laadun. Jotta tietty määritelty eristävyysluokka saavutettaisiin, pitää

⁹ kts. kappale 2.4

lämpötilansäätölaitteen tehon olla korin k-arvon mukaan laskettua tehoa 1,75 kertaa suurempi (ATP Agreement 2016):

$$K = \frac{W}{S \cdot \Delta T} \quad (1)$$

josta saadaan:

$$W = K * S * \Delta T \quad (2)$$

ja kertoimella 1,75 huomioituna saadaan:

$$P \geq 1,75 * K * S * \Delta T \quad (3)$$

missä:

P on nimellinen tarvittava lämpötilansäätölaitteen jäähdytysteho

W on laskennallinen korin vaatima jäähdytysteho

K on korin K-arvo

S on korin geometrinen sisäpinta-alan ja ulkopinta-alan keskiarvopinta-ala

ΔT on lämpötilaero korin ulko- ja sisätilan välillä

Kerroin 1,75 on määritelty, koska kori ja lämpötilansäätölaite on ATP-testattu ja luokiteltu erikseen, eikä ole järkeä tehdä ATP-testejä jokaiselle uudelle koriin asennetulle lämpötilansäätölaitteelle erikseen testin pituuden ja kustannuksien takia. On kuitenkin huomioitava, että laskennalliseen nimelliseen jäähdytystehoon (P) saa nyrkkisääntönä aina lisätä vähintään 1000 W, jotta voidaan valita kapasiteetiltaan riittävän tehokas lämpötilansäätölaite, jotta kaikki korin ovien avaamiset ym. olisi huomioitu.

ATP-sopimus ottaa myös kantaa siihen minkälainen testausraportin pitää olla. Raporttipohjia on monia ja niihin merkataan tarkoin, minkälainen testattava lämpötilansäätölaite on ominaisuuksiltaan ja komponenteiltaan, että testattu laite vastaa tarkoin myös myytäviä laitteita, jotka on tuotantolinjalla valmistettu. Sopimuksessa on myös pohja ATP-sertifikaatille, joka luodaan testatulle laitteelle (ATP Agreement 2016).

Sopimuksessa on myös määriteltynä, miten lämpötilaa pitää koritilassa mitata kuljetuksien aikana. Mittauslaitteiston pitää tallentaa mittausdata vähintään vuoden ajanjaksolle ja laite pitää olla tarkistettuna standardin EN 13486 mukaan sekä olla standardin EN 12830 mukainen. Myöskin kuljetettavien ruokatarvikkeiden näytteen ottamisesta on tarkat ohjeet sopimuksessa, sekä minkä lämpöisiä mitkäkin ruokatarvikkeet saavat olla kuljetuksessa (ATP Agreement 2016).

Koska ATP-sopimus pyrkii täyttämään koko ajan muuttuvan ympäristön vaatimukset, tehdään siihen muutoksia. Sopijamaita on kuitenkin useita ja muutostokouksia vain kerran vuodessa niin muutostahti on hidas. ATP-sopimukseen voi tulla joitain laajasti

suunnitteluun vaikuttava asioita. Yksi tällainen on alun perin Englannista 18.7.2012 tullut ehdotus lisätä ilmavirran mittaaminen ATP-sopimustekstiin pakolliseksi (ECE/TRANS/WP11/2012/5)¹⁰ toimenpiteeksi, koska se on aiemmin kohdassa 4.3.4 ollut lähinnä valinnainen vaihtoehto. Sitä ei kuitenkaan suoraan hyväksytty 68:ssa ATP-kokoussessiossa (2012) ja siitä on seurasi 17.7.2013 muunneltu lisäpyyntö (WP11/69/INF.5)¹¹ muuttaa korin ilmatilavuuden vaihtuvuusvaatimukseksi vaadittavaksi mittausparametriksi, joka esitetään kaavalla (4):

$$\dot{V}_L \geq 60 * V \text{ in } m^3/h \quad (4)$$

missä

\dot{V}_L on ilmavirran määrä
 V on koritilan tilaavuus kuutioissa

Tähän on tullut vielä 8.7.2014 tarkennuksia (ECE/TRANS/WP.11/2014/15)¹² miten mittaaminen pitäisi käytännössä tapahtua. Suomi kuitenkin vastusti (CN/2015/CN-481.2015)¹³ tällaista ilmatilavuuden vaihtuvuusvaatimusta, mikä olisi ollut todella paljon enemmän mihin mikään nykyinen laitekanta olisi pystynyt, kun vertaa minkä tahansa valmistajan laitteiden teknisiä suorituskykytietoja. ATP-kokoussession 18-19.4.2018 numero 74 aikana käytiin mm. läpi Englannin viimeisintä muunneltua ehdotelmaa samasta ilmatilavuuden vaihtuvuusvaatimusaiheesta (ECE/TRANS/WP.11/2018/5)¹⁴ (Kuva 44).

Kokouksessa päätettiin (WP11/74/INF.2)¹⁵, että Englanti tekee muutoksia ehdotukseensa sopiakseen kaikkien osapuolien kanssa ja se käsitellään seuraavan vuoden ATP-kokoussessiossa. Viimeisin Englannin ilmatilavuuden vaihtuvuusvaatimus ehdottaa siis, että leveyspiirin 55° pohjoispuolella, eli kokonaisuudessaan Suomessa, arvo laskettaisiin kaavalla (5):

$$\dot{V}_L \geq 45 * V \text{ in } m^3/h \quad (5)$$

ja tästä etelämmäksi mentäessä ilmatilavuuden vaihtuvuusvaatimus muuttuisi siten, että leveyspiirien välillä 25° - 55°, joka kattaa Etelä-Ruotsista alkaen koko Euroopan aina Egyptin puoliväliin saakka, arvo muuttuisi jouhevasti 45 m³/h arvoon 60 m³/h. Sitä etelämmäksi päiväntasaajalle saakka arvo olisi 60 m³/h.

¹⁰ <https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/doc/2012/wp11/ECE-TRANS-WP11-2012-5e.pdf>

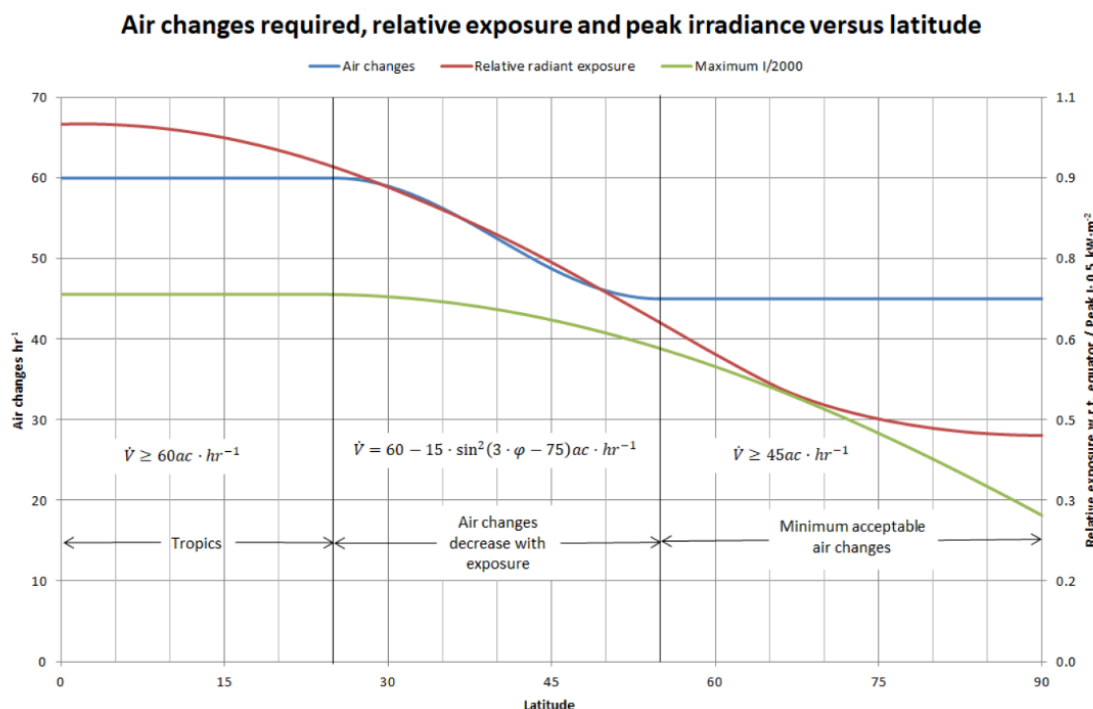
¹¹ <https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/doc/2013/wp11/ECE-TRANS-WP11-inf5e.pdf>

¹² <https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/doc/2014/wp11/ECE-TRANS-WP11-2014-15e.pdf>

¹³ <https://treaties.un.org/doc/Publication/CN/2015/CN.481.2015-Eng.pdf>

¹⁴ <https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/doc/2018/wp11/ECE-TRANS-WP11-238-Add1e.pdf>

¹⁵ <https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/doc/2018/wp11/WP11-74-inf02e.pdf>



Kuva 44. Ilmatilavuuden vaihtuvuusvaatimus, suhteellinen auringon altistus ja säteilyvoimakkuushuippu suhteessa leveyspiireihin (Mynott et al. 2018)

3.9.2 Kylmäaineiden GWP-arvot

Kylmäaineilla on niiden ympäristövaikutuksia kuvaava tunnusluku, eli kasvihuonehaitallisuuden vertailuluku, Global Warming Potential (GWP), joka on suhdeluku hiilidioksidin haitallisuusluvun suhteen. Hiilidioksidin GWP arvo on 1,0. Luvut ilmoitetaan yleensä 100 vuoden ajanjaksolle laskettuina arvoina (Kapanen 2017).

Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EU) N:o 517/2014¹⁶ määrittelee, että vuoteen 2050 mennessä kasvihuonepäästöjä on vähennettävä 80-95 prosenttia vuoden 1990 tasoihin verrattuna, jotta maailmanlaajuinen ilmastonmuutos voidaan rajoittaa kahden celsiusasteen lämpötilan nousuun ja siten estää haitalliset ilmastonvaikutukset. Lämpötilansäätölaitteissa yleisesti käytössä ollut kylmäaine R404A:n GWP arvo on 3922 ja sen käyttö on kielletty kokonaan 1. tammikuuta 2020 alkaen. Sen käyttö on kuitenkin käytännössä jo loppunut, koska sen hinta on kohonnut saatavuuden takia niin korkeaksi, ettei käyttö ole enää kannattavaa. Myöskin rajoitukset ovat niin tiukat, että kylmäaineille on vuosittainen käyttömääräkatto, niin se tulee täyttymään jo vuonna 2018 lopulla (Hengel 2018). Uudet vastaavat kylmäaineet ovat R452A (GWP 2141), R449A (GWP 1397) ja R448A (GWP 1273) (AGA 2018), joista ensimmäinen on enemmän käytössä kuljetuspuolella ja jälkimmäiset kiinteistöpuolella.

¹⁶ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014R0517&from=en>

ATP-sopimus ei juuri ota kantaa kylmäaineisiin, mutta koska testausjärjestelmä on tiukka ja vaatimukset laitteistoille ovat tarkat on ehdotettu (ECE/TRANS/WP.11/2018/10)¹⁷, että olisi mahdollista pystyä vaihtamaan alkuperäinen (todennäköisimmin R404A) kylmäaine toiseen matalamman GWP-arvon kylmäaineeseen (esim. R452A) ja viranomaiset voisivat hyväksyttää tämän vaihdon valmistajan antaman vahvistuksen mukaan. Ehdotus on järkevä, koska vaikka kylmäaineen R404A käyttö on sallittu huolloissa 1. tammikuuta 2020 jälkeen alle 10,2 kg täytöissä (Kapanen 2017), voi kylmäaineen hinta olla niin korkea saatavuusongelman takia, ettei ole järkeä käyttää ko. ainetta enää, jos sitä edes jostain saisi.

¹⁷ <https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/doc/2018/wp11/ECE-TRANS-WP11-2018-10e.pdf>

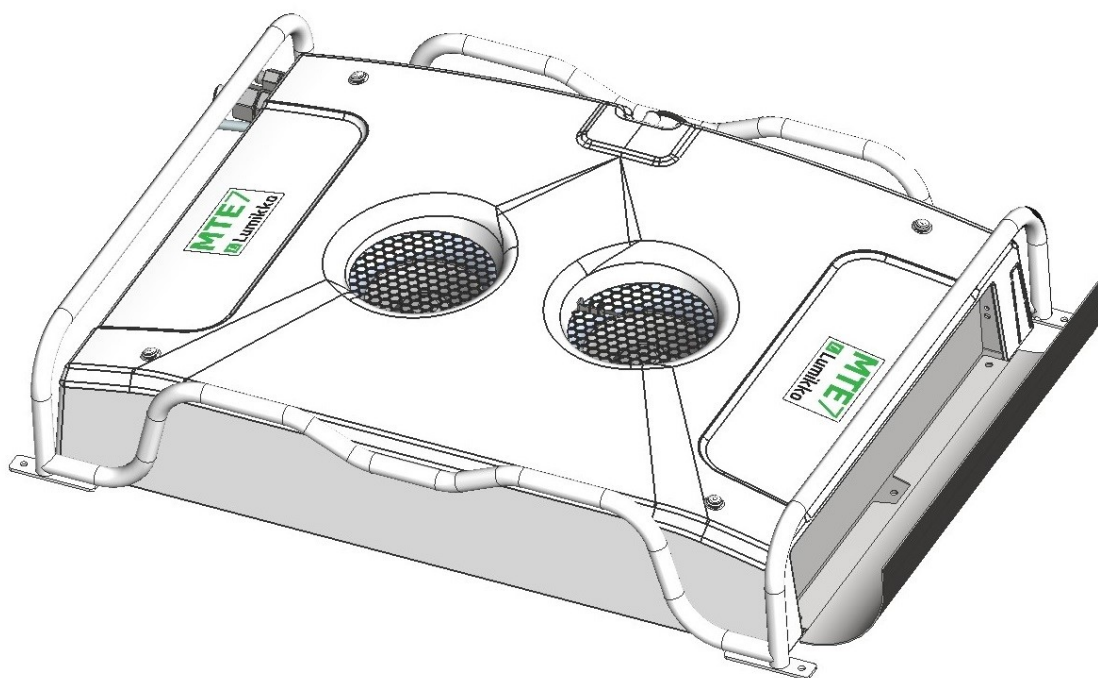
4. TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU

Ennen varsinaista suunnittelua kartoitetaan nykytilanne. Tutkitaan oma olemassa oleva laitekanta ja tutustutaan kilpailijoiden laitteisiin. Pohditaan suunnitteluteorioiden käyttöönottoa ja toteutetaan suunnittelu valittujen metodien avulla. Saatu tulos tulkitaan ja todetaan tulokset annettujen reunaehtojen valossa. Lopuksi arvioidaan suunnittelun onnistumista ja pohditaan mahdollisia jatko toimenpiteitä suunnittelun osalta.

4.1 MTE7 suunnittelulähtökohtana

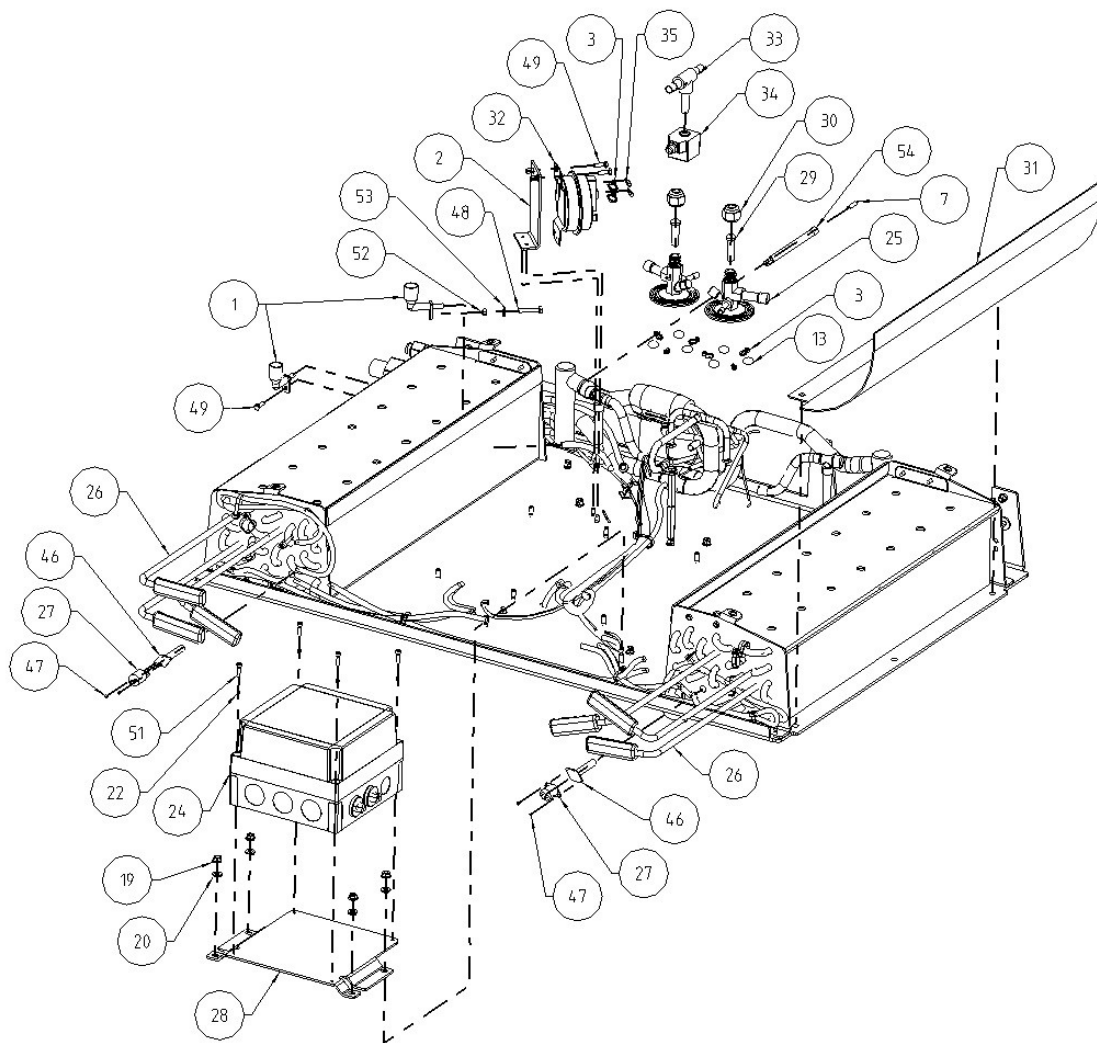
Suunnittelun alkuun kartoitetaan nykytilanne. Koska pyrkimyksenä oli käyttää MTE7:sta tuttuja ratkaisuja ja mahdollisesti samoja komponentteja kustannusten minimoimiseksi, puretaan kyseinen irtohöyrystin osiinsa tarkastelua varten.

Irtohöyrystimen rakenne selviää helpoiten tarkastelemalla laitteen varaosakirjan räjäytyskuvia. Kuvassa 45 on MTE7 irtohöyrystin törmäyssuojalla sekä ilmanohjaimella varusteltuna. Irtohöyrystin on kahteen suuntaan puhaltava malli. Irtohöyrystin on suunniteltu leveydeltään 700 mm:ksi, jotta se mahtuisi kapeimpiinkin koritiloihin. Pituutta laitteella on 990 mm ja korkeutta 199 mm. Useimmiten irtohöyrystintä käytetään yksittäisissä vain vähän eurolavaa suuremmissa korin perätilaan rajatuissa tiloissa, mutta leveytensä puolesta se mahtuu pitkittäin kolmeen osaan jaettuun koritilaankin.



Kuva 45. MTE7 irtohöyrystin törmäyssuojalla ja ilmanohjaimella (Varaosakirja MTE7 2018).

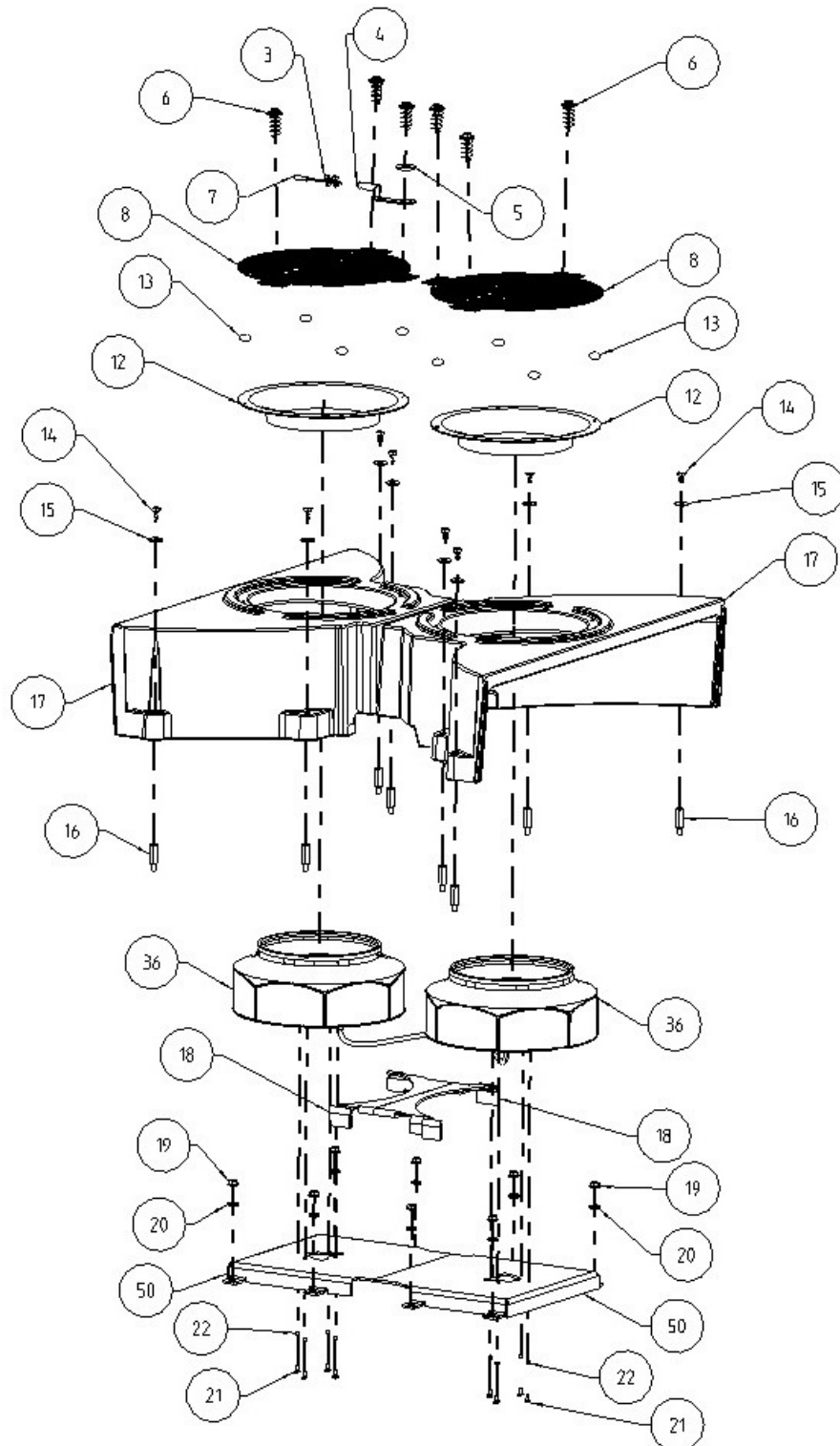
Puhaltimien imaukot ovat riittävän kaukana puhallusaukoista, ettei ilma pääse kiertämään puhallusaukosta suoraan takaisin imuaukkoon, mikä tiputtaisi laitteen tehoa turhaan. Törmäyssuoja on lisävaruste, joka on valmistettu valkoiseksi maalatusta hitsatusta teräsputkirakenteesta. Törmäyssuojalla irtohöyrystimen mitat kasvavat leveydessä 758 mm ja pituudessa 1080 mm. Korkeus on pari milliä yli 200 mm. Ilmanohjaimen ja törmäyssuojan kanssa kokonaispituus on 1162 mm.



Kuva 46. MTE7 irtohöyrystimen pohjalevy, höyrystimet, kylmäpuolen komponentit ja sähkökomponentit sekä ilmanohjain (Varaosakirja MTE7 2018).

Kuvassa 46 on irtohöyrystimen pohjalevy, jossa on molemmissa päissä vetoniitein kiinnitetyt toistensa peilikuvina suunnitellut höyrystinkennot. Lämmitysvastukset (26) työnnetään höyrystinkennon tyhjiksi jätettyihin putkireikiin. Irtohöyrystimen sähkökeskus (24) tai pikemminkin riviliitinkotelo liitetään pohjalevyyn omalla korottavalla asennuslevyllä (28), joka antaa johdotuksille enemmän tilaa muuten ahtaalla pohjalevyllä. Ilmanohjain (31) kiinnitetään pohjalevyn kattokiinnitysruuvien alle. Kylmäpuolen komponentit, kuten paine-erokytin (32), magneettiventtiili (33),

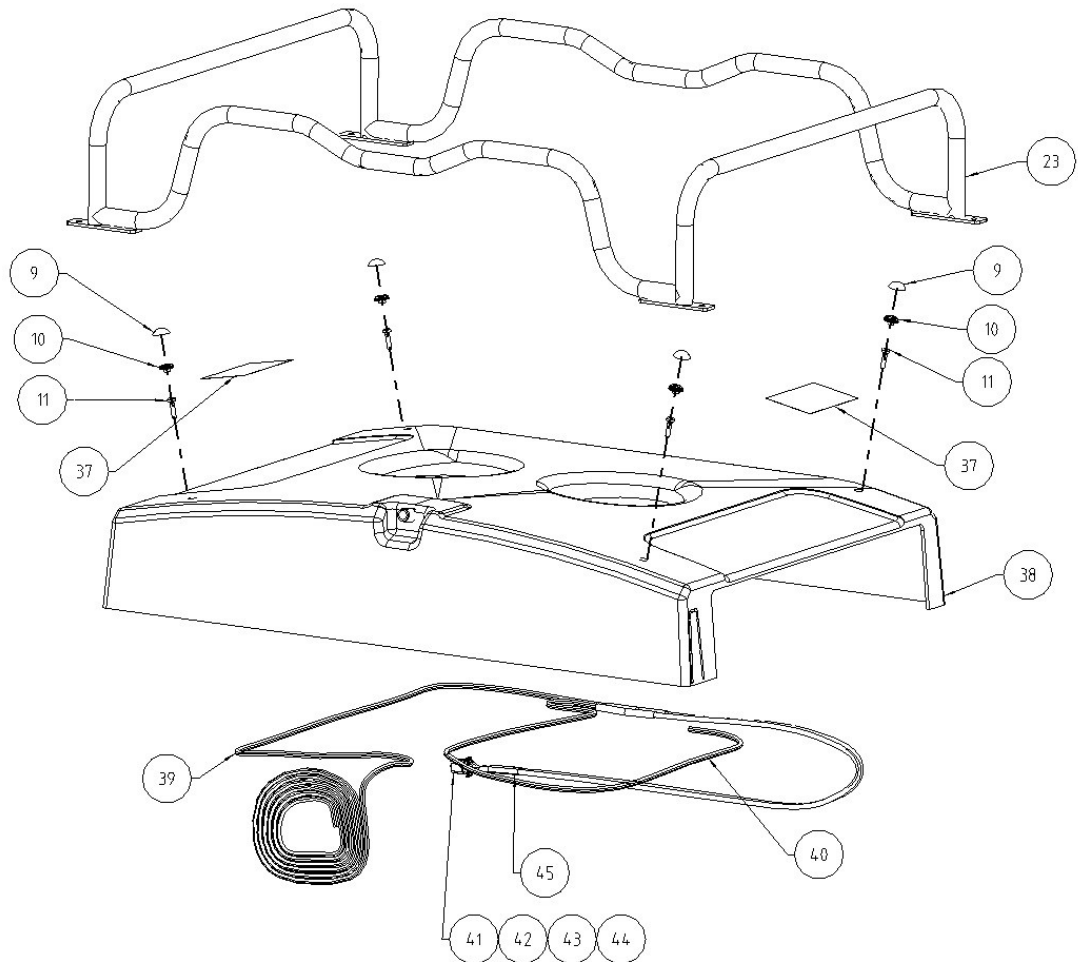
paisuntaventtiili (25) ja sen sisään tuleva suutin (29) ovat sähkökeskusta vastapäätä toisella puolen pohjalevyä.



Kuva 47. MTE7 irtohöyrystimen puhaltimen kiinnityslevyt, puhaltimet, puhallinkotelot, puhallinsuppilot ja verkot (Varaosakirja MTE7 2018).

Kuvassa 47 ovat puhaltimet (36), jotka kiinnitetään omiin korottaviin asennuslevyihinsä (50). Asennuslevyillä puhaltimet asennetaan pohjalevyyn kiinni. Asennuslevyjen alle jää

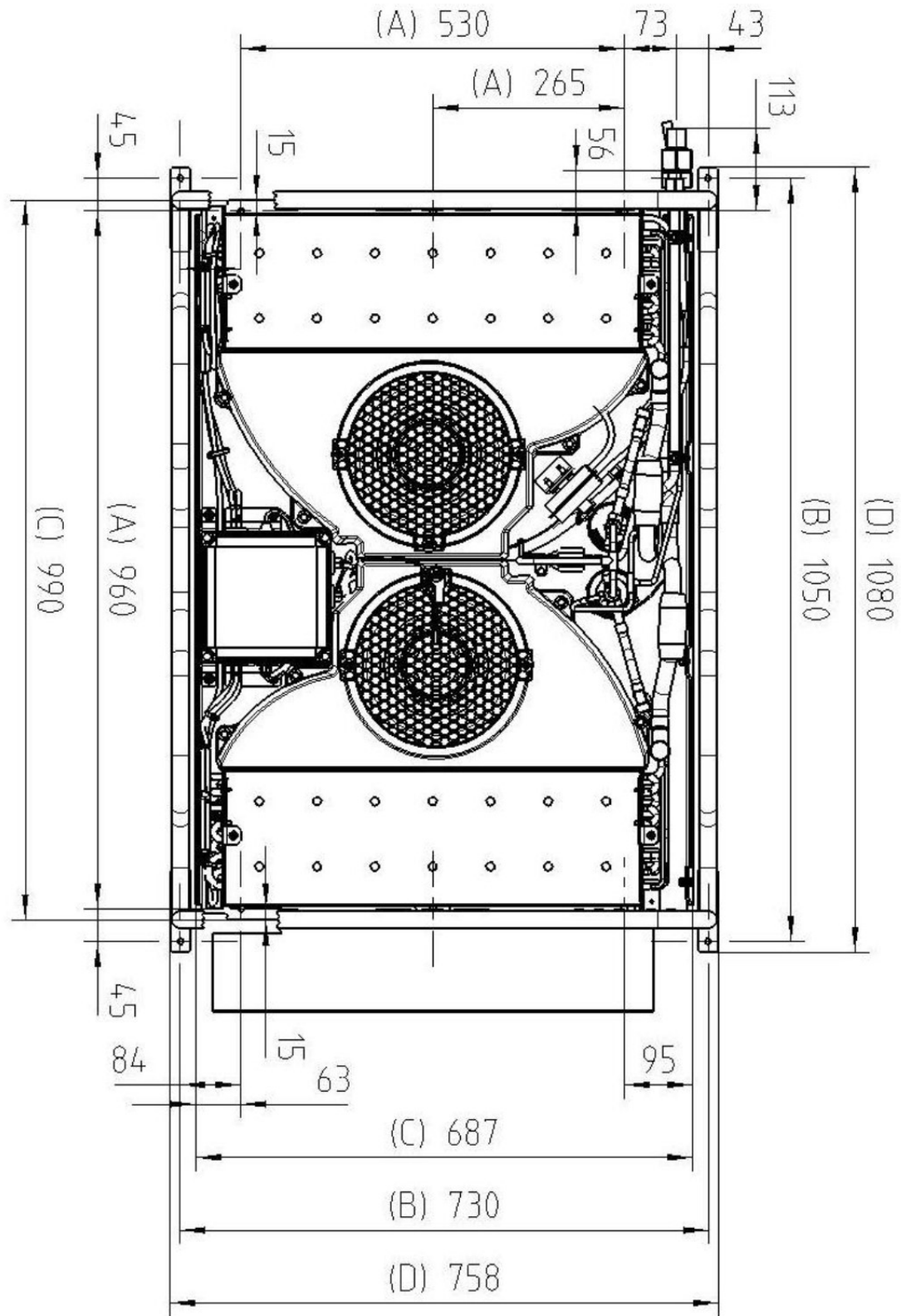
taas tilaa johdotuksille ahtaalla pohjalevyllä. Puhaltimien ympärille tulee niitä varten suunnitellut puhallinkotelot (17), joihin asennetaan puhallinsuppilot (12) ja päälle sormisuojuiksi omat verkot (8). Puhallinkotelot asennetaan pohjalevyyn kiinni korotusruuvin (16) ohjaamina.



Kuva 48. MTE7 irtohöyrystimen tippavesivastus, tippavesikaukalo/kuoret sekä törmäyssuoja (Varaosakirja MTE7 2018).

Kuvassa 48 on törmäyssuoja (23) ja irtohöyrystimen muovikuori (38), joka toimii samalla laitteen tippavesialtaana, jonka sisäpohjaan asennetaan tippavesivastukset (39) estämään höyrystinkennon sulamisvesien jäätyminen. Tippavesivastuksena käytetään itsesäätyvää vastusta. Kuoreen asennetaan myös laitteen logotarrat (37).

Kuvassa 49 näkyy irtohöyrystimen äärimitat ja kiinnityspisteet. Huomioitavaa tässä on se, miten kompaktisti laite on suunniteltu. Tyhjää tilaa ei juuri ole jätetty. Puhallinkotelot ovat vastakkain ja sähkökeskusta varten on suunniteltu oma loveus puhallinkotelon toiselle puolelle. Loveus toki tukee puhaltimen toimintaa eikä häiritse ilmavirtausta puhallinkotelon sisällä.



Kuva 49. MTE7 irtohöyrystimen äärimitat ja kiinnityspisteet (Asennusohje MTE7 2017).

Puhallinkotelo toimii parina kennon kanssa ja leveys on määritelty juuri tätä kennoa silmällä pitäen. Putket on suunniteltu suurimmilta osin toistensa peilikuviksi, jolloin

molempiin kennoihin ja paisuntaventtiileihin menee samat putket eri asennoissa. Magneettiventtiili on keskellä. Rakenne mahdollistaa putkilähtöjen asentamisen molempiin päihin irtohöyrystintä, joka auttaa siinä, kun laite asennetaan korin eripuolille vasen- tai oikeakätisenä versiona.

MTE7 irtohöyrystimestä pyritään hyödyntämään mahdollisimman paljon osia irtohöyrystintuoteperheen suunnittelua varten. Putket ovat haastavia hyödyntää, koska niiden koko vaihtelee paljon laitteen tehojen mukaan ja suunnittelun lähtökohtana olevien mallien on tarkoitus olla yhteen suuntaan puhaltavia. Niitä pitää vain pystyä soveltamaan hyvin, että putkien uudelleenkäyttö onnistuisi. Pohjalevyä eikä kennoja pysty hyödyntämään, mutta puhallin, puhaltimen asennuslevy sekä puhallinkotelo tarvikkeineen pystyttäneen hyödyntämään. Tämä olisi myös järkevää, koska puhallinkotelon muottikustannukset olivat melko suuret, mutta itse puhallinkotelo on komponenttina verrattain edullinen. MTE7:n puhaltimia käytetään myös muissa yrityksen tuotteissa, niin sen valinta on järkevää volyymin kasvattamiseksi.

4.2 Kilpailijoiden laitteet

Raja-arvoina pidettiin kilpailijoiden laitteiden suorituskyyky-, koko- ja hintaraameja, joissa tehokas pieni ja edullinen on aina parempi. Vertailua varten laadittiin vertailutaulukko yrityksen nykyisistä irtohöyrystimistä MTE7:sta ja MTE8:sta¹⁸ suhteessa kilpailijoiden irtohöyrystimiin (Taulukko 4).

Taulukosta 4 huomataan, että mitoitukseltaan laitteet ovat pitkälti saman kokoisia kaikki, jos verrataan koko koritilan leveyteen sopivia malleja, 2/3 koritilaan ja 1/3 koritilaan sopivia malleja toisiinsa. Joillain valmistajilla on tapa rakentaa leveät irtohöyrystimet yhdistelemällä pienempiä erikokoisia irtohöyrystimiiä yhteen. Joillain on jokainen eri koko omana irtohöyrystimenä. Mittojen puolesta korkeus on kautta linjan 200 mm. Leveys on noin 2200 mm:stä 700 mm:iin ja välissä löytyy 1400 mm:ä leveä malli. Muitakin leveyksiä löytyy, mutta näillä kolmella leveydellä pystytään kattamaan miltei mikä tahansa korijakovaihtoehto, joita käytiin kappaleessa 2.1 läpi.

Irtohöyrystimien kapasiteetti -20 °C lämpötilassa riippuu tietysti aina pääkoneesta, mutta irtohöyrystin on järkevää mitoittaa aina suurimman kapasiteetin laitteen mukaan, jolloin koko laitekannan kapasiteettitarve tulee varmasti katettua. Jos pohtii edellä mainittua kolmea eri kokoista mallia, pitää kapasiteetin näissä eri yhteen suuntaan puhaltavissa nuppi- tai rungonaluskoneiden irtohöyrystimissä olla leveimmästä lähtien keskimäärin n. 5500W (2200 mm), 5100W (1400 mm) ja lyhyimmällä 3800W (700 mm). Tästä saadaan raja-arvot suorituskyyvylle eli kapasiteetille. Pitää kuitenkin huomata, että kaikkien

¹⁸ MTE8 on MTE7:aa vanhempi, hieman tehokkaampi ja suurempi malli, jota ei tässä työssä enempää tarkastella.

kapasiteettilukemien olevan aina irtohöyrystimen maksimi jäähdytysteho yksinään pääkoneeseen kytkettynä.

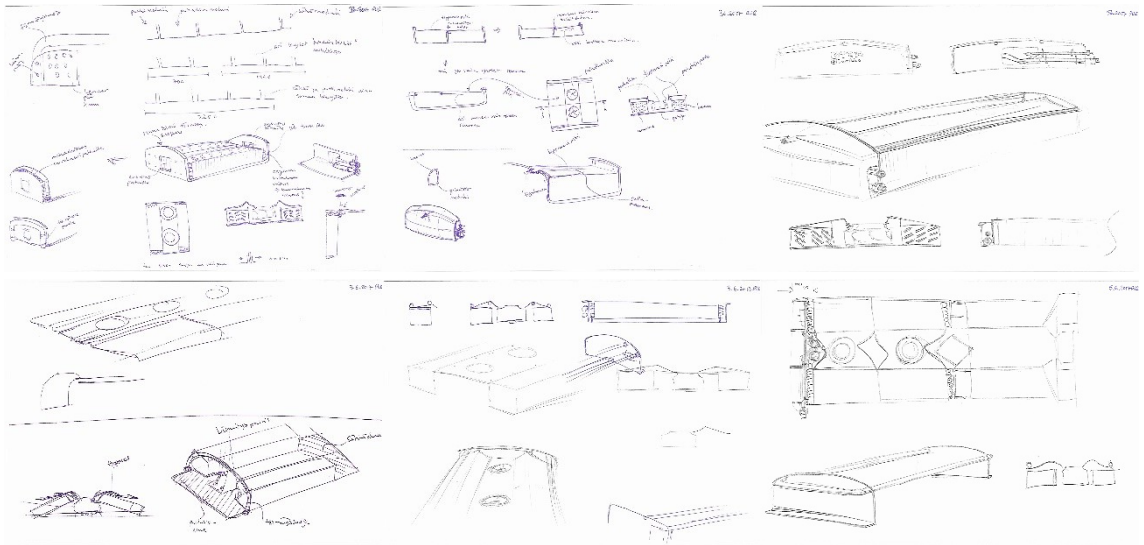
Taulukko 4. Irtohöyrystimen vertailutaulukko

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1		Size			Weight	Capacity		Heating	Airflow	Discharge		
2		Width	Lenght	Height	kg	(return air to evaporator)		capacity	volume	velocity	Unit type	Model
3						0	-20		m³/hr	m/sec		
4	Lumikko											
5	MTE7	700	990	199	36		3800-4300					
6	MTE8	790	985	199	55		4800					
7	Thermo King											
8	S-2	760	1000	200	36	6300	3800		1420	9,5	Truck	T-Series
9	S-3	1100	1000	200	51	7600	4400		2050	9,5	Truck	T-Series
10												
11	S-2	760	1000	200	36	6800	4200		1330	9,5	Trailer	SLXi series
12	S-3	1100	1000	200	51	8500	5000		2000	9,5	Trailer	SLXi series
13	S-2 + S-2	(1520)	1000	200	87	10700	6050		2700	9,5	Trailer	SLXi series
14	S-2 + S-3	(1860)	1000	200	102	12400	7100		2800	9,5	Trailer	SLXi series
15	S-3 + S-3	(2200)	1000	200	102	13300	7100		2800	9,5	Trailer	SLXi series
16												
17	ES-800	1650	592	220		8500	5100		2430	6,5	Undermount	UT-800
18	S-3 + S-3					11000	6700		4000	9,5	Undermount	UT-1200
19	E-EVAP	1615	638	302		11200	6500		3350	6,6	Undermount	UT-1200
20												
21	Carrier											
22	xxS = single discharge											
23	xxD = dual discharge											
24	MTS 700	700	752	200	23	7200	3400	4680	1100		Truck	Supra 1250 MT
25	MTS 1100	1044	752	200	34	8550	5000	4710	2100			Supra 1250 MT
26	MTS 1450	1450	752	200	42	9500	5700	4890	2400			Supra 1250 MT
27	MTS 2200	2150	752	200	60	10500	5850	5200	3500			Supra 1250 MT
28	MTD 1450	1450	752	200	42	8950	5600	4890	2350			Supra 1250 MT
29	MTD 2200	2150	752	200	60	11400	6300	5200	3600			Supra 1250 MT
30												
31	MVS 700	700	944	167	28	6980	4060	3000	1035		Trailer	Vector 1950 MT
32	MVS 1100	1044	944	167	40	10210	5670	4500	2075			Vector 1950 MT
33	MVS 1450	1450	944	167	51	13940	7630	7500	3500			Vector 1950 MT
34	MVD 1100	1044	944	167	40	10150	5560	6000	2305			Vector 1950 MT
35	MVD 2200	2150	944	167	71	15740	8030	7500	3805			Vector 1950 MT
36												
37	MTS 700	700	752	200	23	5750	3340	4680	1100		Undermount	Supra 1150 U MT
38	MTS 1100	1044	752	200	34	7950	4570	4710	2100			Supra 1150 U MT
39	MTS 1450	1450	752	200	42	8850	4950	4890	2400			Supra 1150 U MT
40	MTS 2200	2150	752	200	60	9730	5230	5200	3500			Supra 1150 U MT
41												
42	Mitsubishi											
43	TMEVX-S	760	743	200	25	7100	4500				Undermount	TU100SAEM
44	TMEVX-M	1000	743	200	31	8200	4900				Undermount	TU100SAEM
45	TMEVX-L	2000	743	200	50	10200	6100				Undermount	TU100SAEM
46	UM own evaporator	2000	744	200	54	10800 [6500]	6500 [5200]				Undermount	TU100SAE

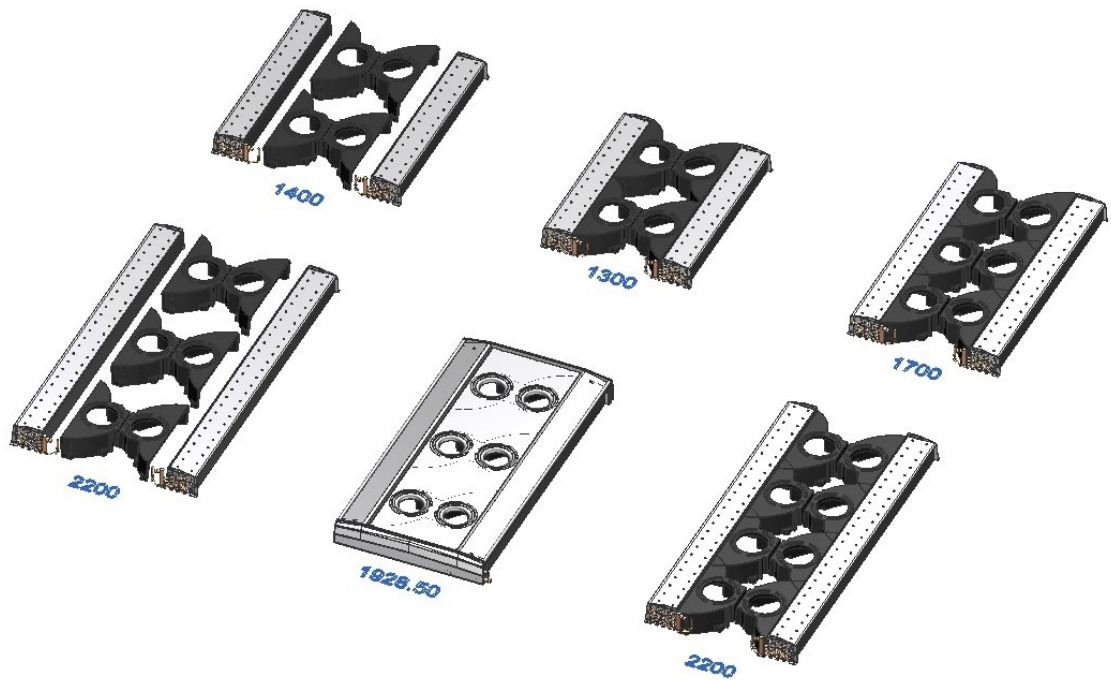
Kilpailijoiden laitteiden hintoja selvitetiin ja niistä saatiin hyvä käsitys siitä minkälaiset raamit suunniteltavan laitteen osien ja komponenttien hinnaksi saa muodostua. Pysyttäessä alle 2500 € omakustannushinnoissa leveimmän irtohöyrystimen kanssa pystytään sen myyntihinta asettamaan järkevälle tasolle.

4.3 Ensimmäinen konsepti

Työn aloituspalaverin jälkeen ennen suunnitteluteorioihin tutustumista tehtiin ensimmäiset alustavat käsivaraiset skissit ja 3D-malliehdotelmat ensimmäistä konseptitarkastelua varten (kuvat 50 ja 51).



Kuva 50. Ensimmäiset irtohöyrystimen käsivaraiset skissit konseptista.

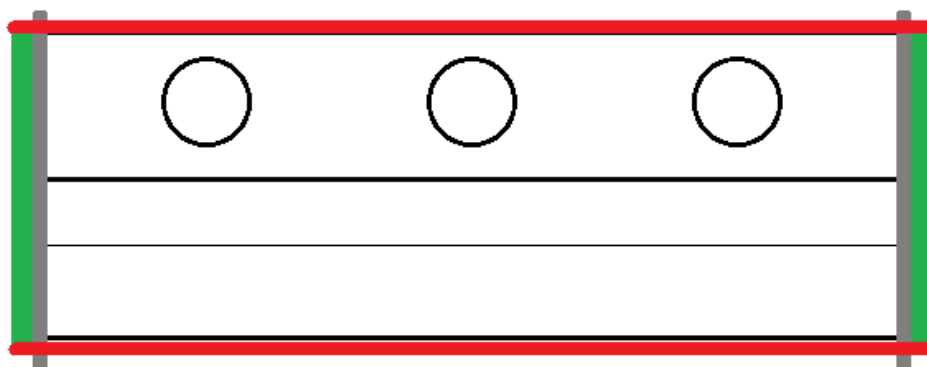


Kuva 51. Ensimmäiset irtohöyrystimen 3D-mallit konseptista.

Kuvassa 50 on alustavia ideoita, joiden tarkoituksena oli toimia ideapankkina ja inspiraationa. Kuvassa 51 on MTE7:n rakenteita käytetty hyödyksi nopeasti leventämällä kennoa ja lisäämällä puhallinkoteloita, jotta saataisiin alustavan suunnitelman 1400 mm ja 2200 mm pitkät kahteen suuntaan puhaltavat irtohöyrystinehdotelmat tarkastelua varten mallinnettua. Puhallinkotelosta johtuen oli mahdollista tehdä keskimmäiset 1300 mm sekä 1928,50 mm pitkät mallit suoraan skaalaamalla MTE7:aa leveämmäksi ja pitämällä puhallinkotelot toisissaan kiinni (Kuva 51). Tällöin puhallinkotelot myös sopivat suoraan kennoa vasten ilman suurempaa sovittelua.

Jos halutaan pysyä vähänkään alustavien mallien suunnitelluissa mitoissa, pitää 1400 mm ja 2200 mm leveiden mallien puhallinkoteloiden ympärille ja kennon väliin jättää rakoa. Se olisi pitänyt sulkea jollain erillisellä rakenteella. Nämä mallit ovat kuvassa 51 vasemmalla. Jos tällaiset ylimääräiset välit haluttiin välttää, lisättiin puhaltimia. Tällöin puhallinkotelot toki menivät päällekkäin ja niitä olisi joutunut muokata joko muottia muuttamalla, tai leikkaamalla jokaista puhallinkotelo n. 100 mm kapeammaksi. Kumpakaan vaihtoehtoa ei ollut järkevä toteuttaa.

Alustavien suunnitteluehdotelmien pohjalta saatiin irtohöyrystimelle rakenneidea, jossa ei ole käytetty kuvassa 48 näkyvää koko irtohöyrystimen peittävää muovikuorta (Kuva 52). Päädyt verhoiltaisiin mahdollisilla muovisilla sivukuorilla (vihr.). Tällä vältetään suuret muottikustannuskulut, kun MTE7:n muovikuoriratkaisua ei käytetä jokaisessa uudessa irtohöyrystinmallissa. Tippavesiallas ja puhaltimien päälle tarvittava kansi olisi jokaisessa mallissa omansa, mutta alumiinilevystä tehtynä kustannus pystyisi paljon maltillisempana.



Kuva 52. Alustavien skissien ja 3D-mallien pohjalta tehty perustusmalli irtohöyrystintuoteperheelle.

Rakenneideassa MTE7:n tapainen erillinen törmäyssuoja hylättiin. Muovikuorien jälkeen tulee koko irtohöyrystimen korkeutta ja syvyyttä muutaman millin korkeammat levyt (harmaa), jotka hoitavat törmäyssuojien virkaa ja ovat osa rungon tukirakennetta. Näiden väliin asennettaisiin putket lisätörmäyssuojiksi (pun.) asiakkaan näin halutessa. Tämän rakenteen keskellä on tietysti paikat puhaltimille sekä tippavesialtaan alla tila höyrystimelle.

4.4 Irtohöyrystintuoteperheen suunnittelu

Kuten kappaleessa 2.3 todetaan, tarkennettiin suunnitteluprosessin alussa irtohöyrystintarvetta ja suunnittelun pohjaksi muotoutuivat noin 2000 mm leveä 6 kW teholuokan, noin 1400 mm leveä 4 kW teholuokan ja 700 mm leveä 2 kW teholuokan yhteen suuntaan puhaltavat irtohöyrystimet sekä 1400 mm leveä 8 kW teholuokan kahteen suuntaan puhaltava irtohöyrystin. Tärkein noin 2000 mm leveä irtohöyrystin

suunniteltaisiin ensin ja sen ajateltiin toimivan pohjana myös kahdelle pienemmälle mallille ja keskimäinen malli vastaavasti ideana kahteen suuntaan puhaltavalle mallille.

Ykkösprioriteettina oli siis 2000 mm leveä 6kW malli, jonka oli tarkoitus palvella suunnittelun alla olevaa kuorma-auton rungon alle asennettavaa lämpötilansäätölaitetta. Tämä rungonaluskone pohjautuu olemassa olevaan L6BHS-nuppikonemalliin, joka on jäähdytysteholtaan 6kW teholuokassa, ja jonka mukaan 2000 mm leveän kennon kapasiteetti pitäisi mitoittaa. Mahdollisuus oli myös valmistaa L6BHS-nuppikoneesta rakenne, jonka päähöyrystimenä tämä suunniteltava 2000 mm leveä irtohöyrystin voisi myös palvella. Normaalisti L6BHS:ssä on kiinteästi asennettu ulkoinen höyrystin.

Monilämpöisissä koreissa 2000 mm leveän päähöyrystimen parina irtohöyrystimenä voitaisiin käyttää joko vanhaa kahteen suuntaan puhaltavaa MTE7:aa, suunnittelun alla olevia yhteen suuntaan puhaltavia 1400 mm tai 700 mm leveitä malleja. Tai niin, että yhteen suuntaan puhaltava 1400 mm leveä malli olisi päähöyrystimenä ja sen parina irtohöyrystimenä olisi MTE7 tai yhteen suuntaan puhaltava 700 mm malli. Koska pääkoneen kapasiteetti on 6 kW, rajoittaa se kovin monenlaisten kombinaatioiden toteuttamisen. Jos asiaa tutkitaan laskennallisesti ja oletetaan, että kori on keskimäärin 2500 mm leveä ja 3000 mm korkea, niin FRC-luokan korille saadaan laskettua ATP-sopimuksen mukaisella kaavalla (3)¹⁹ pituutta n. 14,2 m, kun $K = 0,40 \text{ W/m}^2$ ja $\Delta T = 50 \text{ K}$ (sisälämpötila $-20 \text{ }^\circ\text{C}$ ja ulkolämpötila $+30 \text{ }^\circ\text{C}$). Jos huomioidaan myös aiemmin mainittu 1000 W nyrkkisääntö huomioimaan korin ovien avaukset, jää pituus n. 11,6 m:iin. Kuorma-auton korin pituus on Suomessa maksimissaan n. 10 m. Laskennallisesti pystytään siis toteamaan, että jäähdytysteholtaan 6 kW lämpötilansäätölaitte riittää täyttämään erinomaisesti tällaisen korin kylmäkuljetusvaatimukset FRC-luokassa. Jos kori jaetaan kahteen eri kokoiseen osastoon, pystytään laskennallisesti toteamaan, miten paljon jäähdytystehoa täytyy eri osastoja kohden olla. Pääsääntöisesti korit jaetaan kahteen osastoon, jolloin lämpötilansäätölaitteella on päähöyrystin ja yksi irtohöyrystin. Kolmiosastoisia koreja toki löytyy, mutta tällaisissa kolmas osasto on ilman irtohöyrystintä, jolloin tila on pääasiassa samassa lämpötilassa kuin ulkoilma. Kolmen höyrystimen ohjaaminen yhdellä pääkoneella on todella haastavaa ja yleensä sellaiset toteutukset ovatkin enemmän tai vähemmän huonoja kompromisseja.

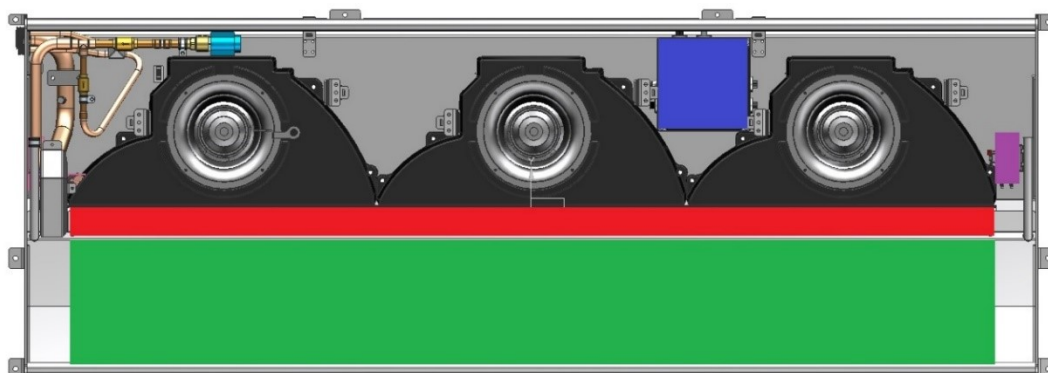
4.4.1 PSP:n hyödyntäminen

Suunnittelua varten tutkittiin PSP:tä ja siitä löytyi mielenkiintoisi ajatuksia tuoteperhesuunnittelua varten. Suunnitteluperiaatteista kappaleen 3.6.5 Tilavaraus erilaisille komponenteille -sisältö tarjosi yhden pohdinta kannan siitä, miten komponentit kannattaisi sijoittaa alustaansa. Siinä kuorma-auton alustan modulaarisuus mahdollistaa

¹⁹ kts. kappale 3.9.1

standardin layoutin potentiaalin. Layoutille saadaan suunniteltua toiminnalliset, joustavat, osittain joustavat ja täysin määritellyt alueet kuorma-auton komponenteille.

Mietittäessä irtohöyrystintuoteperhettä alustavan irtohöyrystinkonseptin avulla, jonka päärunko oli lähinnä leveydessään venytetty MTE7, voitaisiin se siis jakaa tiettyihin alueisiin, joihin komponentit sijoitettaisiin leveydestä riippuen ja/tai riippumatta. Kuvassa 53 näkyy alkuvaiheen suunnitelma suurimman irtohöyrystimen rungosta. Siinä vasen reuna toteuttaa **täysin määritellyn ratkaisun**, jossa putkikokoonpano olisi aina samassa paikassa laitteen leveydestä riippumatta. Myöskin laitteen molempiin pätyihin tulevat sivulevyt ja sivukuoret toteuttavat saman ajattelutavan. **Osittain joustava** ratkaisu toteutuu höyrystinkennon (vihr.) sijainnilla, joka olisi aina laitteen etureunassa ja leveydestä riippuen kasvaa yhdessä puhallinkotelokokoonpanojen leveyden verran. Sama ratkaisu toteutuu myöskin lisävarusteeksi ajatellun dieselmoottorin vesikiertoa hyödyntävän lämmityskennon (pun.) sijoittelulla, joka laitettaisiin höyrystimen ja puhallinkotelokokoonpanojen väliin. Myös jälkiasennettavan ja vaihdettavan törmäyssuojan sijoittelu kuvan 52 mukaisesti tukee tätä samaa ajattelua. **Toiminnallista ratkaisua** toteutetaan sijoittelemalla puhallinkotelokokoonpanot (mustat, Kuva 47) aina irti höyrystinkennosta tietylle etäisyydelle ja vierekkäin kiinni toisiaan.

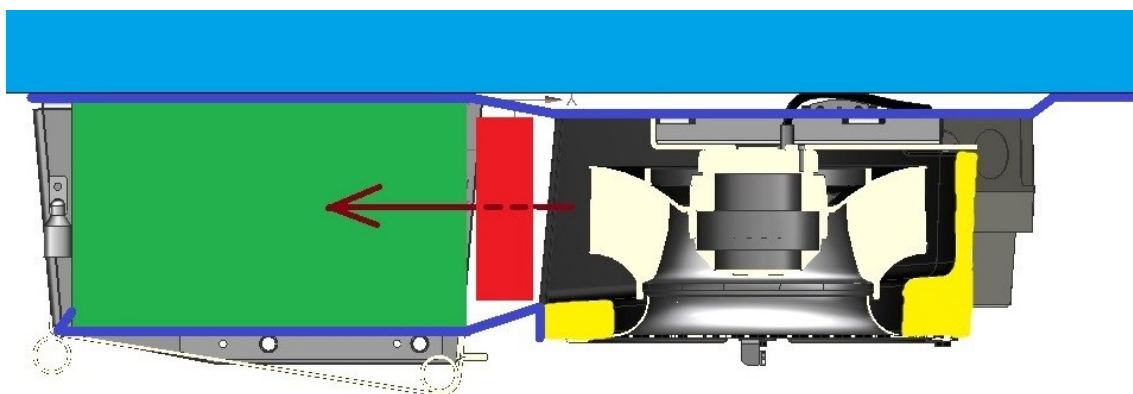


Kuva 53. PSP:n erilaisten komponenttien tilavarausidean hyödyntämistä 2000 mm leveän mallin kohdalla.

Joustavan ratkaisun toteuttaa sähkökeskuksen (tumman sin.) ja paine-erokytkimen (purppura) sijainnit, jotka liikkuvat uuteen vastaavaan paikkaan höyrystimen leveyden ja puhallinkotelokokoonpanojen sijaintien mukaisesti.

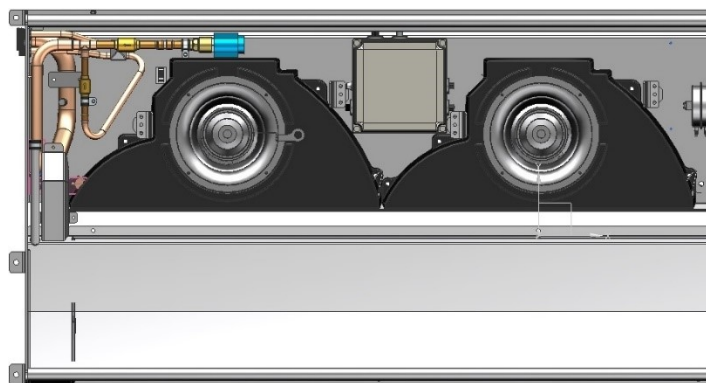
Puhallinkotelokokoonpanon leveys ja sijoituspaikat olivat tämän kokonaisratkaisun määräävimpinä tekijöinä. Laitteen äärimitat määräytyivät puhallinkotelokokoonpanojen koon mukaan ja osittain myös saavutettavissa oleva kapasiteetti riippui niistä. Höyrystinkennoa ei pysty suunnitella tilaansa nähden yhtään tehokkaammaksi yksinkertaisesti fysiikan lakien tullessa vastaan. Kun tarkoituksena oli suunnitella mahdollisimman kompakti laite, niin myös muiden komponenttien sijoittelu riippui paljolti puhallinkotelokokoonpanojen sijainnista. Muille komponenteille ei jäänyt merkittävästi tilaa tai vaihtoehtoja monelle eri sijoituspaikalle.

Puhallinkotelokokoonpanon etäisyys höyrystinkennosta määrittyi siitä, että ensimmäisten kennolaskelmien jälkeen proto piti varustaa MTE7:aa paksummalla (ja muutenkin suuremmalla) kennolla suuremman kapasiteettitarpeen vuoksi. Pelkästään MTE7:n kennoa skaalaamalla ei saatu riittävän tehokasta höyrystinkennoa suunniteltua, eikä sitä ollut teknisesti mahdollista valmistakaan, jotta kaikki ominaisuudet lämmitysvastusreikineen olisi tullut huomioitua. Paksummalla höyrystinkennolla haettiin siis lisäkapasiteettia. Tämä taas johti siihen, ettei puhallinkotelo pystynyt enää korkeudesta johtuen liittämään aivan kennoa vasten vaan se piti siirtää hieman irti höyrystinkennosta, että pystyttiin varmistamaan tasaisempi puhaltimien ilmanjakauma kennolla. Tämä toki loi mahdollisuuden lisätä lämmityskenno höyrystinkennon ja puhallinkotelokokoonpanojen väliin. Lämmityskennoa ajateltiin myytävän mahdollisena lisävarusteena. Kuvassa 54 nähdään höyrystinkenno (vihr.), laitteen runko (tumman sin.), puhallinkotelo (kelt./must.), lämmityskenno (pun.) ja korin katto (vaal.sin.). Runko on suunniteltu vastaamaan puhallinkoteloon ja ohjaamaan puhaltimen ilmapirta kennoon sopivasti. Lämmityskennolle löytyi tila höyrystinkennon paksuuden lisäämisen johdosta, jota ei MTE7:n tapauksessa ole olemassa.



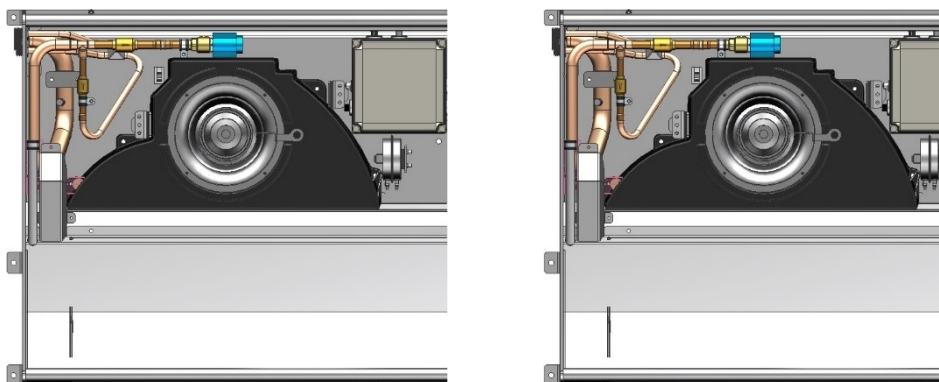
Kuva 54. Irtohöyrystimen poikkileikkaus puhaltimen keskeltä.

Koska puhallinkotelo määrää tässä suunnitelmassa höyrystinkennon leveyden niin tarkasti, tulevat muut ongelmat vastaan. Kaksi suurinta irtohöyrystintä pystytään toteuttamaan helposti, mutta kapeimpaan irtohöyrystinmalliin on vaikeampi saada sijoitettua kaikki komponentit 700 mm sisään, jos tällaista skaalattavaa tilavarausratkaisua halutaan käyttää. Kuvassa 55 näkyy 1400 mm leveä irtohöyrystinmalli, jossa komponentit liikkuvat sopivasti niihin paikkoihin kuin ne oli suunniteltukin suurimmassa mallissa ja miten ne oli tilavarauseräilytettävissä suunniteltu. Kun yksi puhallinkotelokokoonpano lähtee pois, muuttuu höyrystinkennon leveys kapeammaksi, sähkökeskus ja paine-erokytin siirtyvät uuteen paikkaan ja putket ovat samassa paikassa kuin ennenkin.



Kuva 55. PSP:n erilaisten komponenttien tilavarausidean hyödyntämistä 1400 mm leveän mallin kohdalla.

Kuvasta 56 nähdään, että tällä suunnitteluidealla suurimman irtohöyrystimen ehdoilla toteutettuna tulee pienimmän irtohöyrystimen kanssa ongelmia leveyssuunnassa. Vasemmanpuoleinen malli kuvassa 56 on n. 800 mm leveä ja oikeanpuoleinen n. 750 mm leveä, kun leveys saisi olla tasan 700 mm. Vasemman puoleisen mallin tila on lyhennetty kapeimmilleen, jossa sähkökeskus mahtuu vielä sivulevyjen sisään. Oikean puoleisen mallin tila on lyhennetty kapeimmilleen, jossa paine-erokytkin mahtuu vielä sivulevyjen sisään sähkökeskuksen leveydestä tinkimällä.



Kuva 56. PSP:n erilaisten komponenttien tilavarausidean hyödyntämistä 700 mm leveässä mallissa.

Pienin irtohöyrystin tällä konseptilla saataisiin 700 mm leveäksi, jos sähkökeskus olisi kapeampi ja selvästi muita malleja poikkeava. Se olisi toki haastavaa, koska hyväksytyjä sähkökoteloita on rajallinen määrä ja nykyinenkin sähkökeskus on melko täyteen pakattu, ettei sitä kovin helposti pienemmäksi saisi. Sähkökeskus voitaisiin toki asentaa irtohöyrystimen ulkopuolelle, mutta tämä asennustapa ei ole suositeltu tai järkevä asentajien eikä asiakkaiden puolesta.

Kapeimman irtohöyrystimen syvyyttä toki olisi voinut lisätä, jolloin tilaa sähkökeskukselle olisi ollut puhallinkotelokokoonpanon takana, mutta silloin myös sivulevyjen ja muovisten sivukuorien leveyttä olisi pitänyt lisätä ja oltaisiin vain luotu tuoteperheestä poikkeava malli, jolle ei olisi sopinut muihin malleihin sopivat yhteiseksi

suunnitellut osat. Täten häviäisi osaltaan tuoteperheen idea käyttää samoja osia ja komponentteja jokaisessa irtohöyrystinmallissa mahdollisimman laajasti.

Yhteisien osien lukumäärän kasvattamista tuoteperheessä tukee myös ajatus kappaleen 3.6.6 Standardoinnin täysi hyödyntäminen -sisältö. Ideana on suunnitella mahdollisimman paljon sellaisia osia, jotka toimivat tuoteperheen jokaisessa variantissa. Tällaisia osia olisivat esimerkiksi irtohöyrystimen törmäyssuojana toimivat sivulevyt kuin myös muoviset sivukuoret, mitkä tietysti menisivät jokaiseen malliin muuttamattomina. Ajatusta ei tarvitsisi toki jättää pelkästään irtohöyrystimien yhteisiin osiin vaan esimerkiksi putkikokoonpanossa imu-, neste- ja kuumakaasulinjan putkien liittimet muodostavat oman rajapinnan laitteen ja lämpötilansäätölaitteelta koriin asennettavien putkien välille. Rajapinnalle on hyvä suunnitella tukilevy, joka auttaa putkiliittimien paikallaan pysymisessä, kun liittimiä kiristetään. Tähän levyyn tehtäisiin reikiä myös muille laitteesta ulos tuleville johdoille ja kaapeleille. Tämä tukilevyn koko ja muoto, tai tarkemmin putkien liitinten ryhmittely, voisi toimia yrityskohtaisena standardina. Tukilevy voitaisiin asentaa jokaiseen koneeseen, jossa vastaavassa rajapintaa tarvitaan. Nyt jokaisessa koneessa on oma imu-, neste- ja kuumakaasulinjan rajapinta, joihin on jokaiseen käytetty oma suunnitteluaika ja luotu tarvittaessa oma nimike hallinnoimaan rajapintaa. Tällaisen yksittäisen tukilevyn yrityskohtainen standardointi ei vaikuta isolta hyödyltä, mutta kun ajatus laajennetaan moneen muuhun osaan ja rajapintaan, niin hyötymäärä kasvaa portaittain. Asia tarvitsee vain määrittelyä ja yhteisiä sopimuksia käytännöistä yrityksen sisällä.

Tarkasteltaessa vielä mahdollisuutta saada kapein malli mahtumaan osineen ja komponentteineen 700 mm sisään olisi yksi mahdollisuus ollut kääntää putkikokoonpano toiselle puolen irtohöyrystintä, jolloin sähkökeskus olisi tullut puhallinkotelo vasten samaan koloon kuin se oli MTE7:ssä (kts. kuvan 49 alempi höyrystinkenno ja puhallinkotelo sekä sähkökeskuksen sijainti). Tämä ei tuonut vastaavaa hyötyä varsinkaan, kun suunnittelussa oli tarkoitus saada irtohöyrystimet suunniteltua oikeakätisiksi. Irtohöyrystimet asennettaisiin pääasiassa korin oikeaan reunaan, jolloin putkien oli parempi vastata asennussuuntaa jo valmiiksi. Tästä tuki päästään siihen pohdintaan mitä sitten, kun halutaan asentaa vasenkätisenä oikeakätiseksi suunniteltu irtohöyrystin. MTE7 on mahdollista tilata joko oikea- tai vasenkätisenä, mutta tässä vaiheessa suunnittelua tuoteperheen irtohöyrystimissä kaksikätsyyttä ei ollut vielä huomioitu.

Toisena mahdollisuutena olisi voinut olla kaventaa höyrystinkennoa reilusti puhallinkotelo kapeammaksi ja peittää auki jäävä puhallinkotelon suu ohjauspellillä, jotta osat olisi saatu mahdutettua 700 mm sisään. MTE7:n rakenne on sen verran erilainen, että se on pystytty tällä puhallinkotelolla tehdä juuri 700 mm leveäksi. Siinäkin tuki on omat haasteensa valmistaa putkitukset ahtaan tilan vuoksi. Irtohöyrystintuoteperheessä alustavan rakenteen törmäyssuojana toimivat sivulevyt ja muoviset sivukuoret lisäävät laitteen leveyttä sen verran, että tämä 700 mm leveä malli

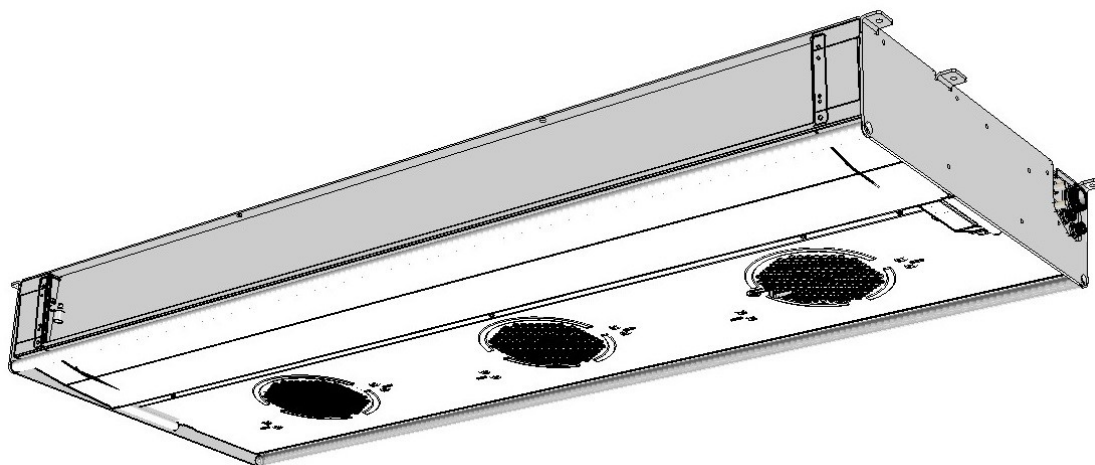
oli haastava toteutettava. Kahden leveämmän mallin leveyden kanssa ei ollut ongelmaa ja olisi ehkä väärin ajatella, että kapeimman mallin takia tehtäisiin kompromissi suurempien mallien kustannuksella. Pienimmän mallin kautta suunniteltaessa voitaisiin tehdä valmistettavuudeltaan ja asennettavuudeltaan hankalat suurimmat mallit.

Huomattavaa tässä on se, että kun aloitetaan uuden suunnittelu pitäisi vanha malli olla suunniteltu jo niin, että se voisi tukea mahdollisesti tulevia suunnitelmia. Tämä on haastavaa, mutta tässä muuten hyvän puhallinkotelon käyttö rajaa paljon asioita ja aiheuttaa kompromisseja suunnittelussa. Jos kriteerit olisivat väljemmät niin irtohöyrystinnallit olisivat helpompia suunnitella tätä puhallinkoteloä hyödyntäen. Toisaalta toisinpäin ajateltuna kriteerit pystyttäisiin täyttämään helpommin, kun puhallinkoteloä ei hyödynnettäisi tässä irtohöyrystinsuunnittelussa.

4.4.2 PSP:llä saavutetut tulokset

PSP:n suunnitteluperiaatteita hyödyntämällä saatiin suunnitteluun avuksi ajattelutapa hyödyntää erilaisten komponenttien tilavarausta, jonka käytön haasteeksi tuli lähinnä komponentit vanhemman sarjan irtohöyrystimestä. Komponenttien uudelleenkäyttö volyymin nostamisen johdosta on järkevää, mutta aiheutti tässä tapauksessa enemmän haasteita kuin hyötyjä. Käytännössä vanhasta MTE7 irtohöyrystimestä ainoastaan puhallinkotelokokoonpanoa pystyttiin käyttämään uudestaan hyödyksi. Myös putket oli suunniteltava kokonaan uudestaan muuttuneen rakenteen johdosta. Uudelleenkäyttö kulminoitui puhallinkotelokokoonpanoon ja sen kokoon, joka rajasi saatavaa kapasiteettitarvetta rajoittaen suunniteltavan kennon kokoa.

Koska suunnittelulla pyrittiin vastaamaan suorituskyky, koko- ja hintarajatavoitteisiin, saavutti ensimmäinen prototyyppi näistä tavoitteista kaksi kolmesta (Kuva 57). Leveimmän irtohöyrystimen suorituskyky eli kapasiteetti kilpailijoihin nähden piti olla noin 5500 W, kuten edellä määritelty, mutta ensimmäisen prototyypin kapasiteetti ajossa saatiin noin 5200 W teholumemat. Tämä jää alle tavoitellun ja vaatii toimenpiteitä. Yksi selvä syy on puhallinkoteloiden rajaaman tilan koko. Höyrystinkennon kokoa pystyy kasvattamaan irtohöyrystimen ulkomittoja kasvattamalla. Siitä ole haittaa, koska ensimmäisen prototyypin ulkomitat olivat erittäin kompaktit. Koon puolesta suurin irtohöyrystin oli siis selvästi kilpailijoitaan pienempi. Leveys oli noin 1950 mm ja suurimmat kilpailijoiden irtohöyrystimet olivat 2200 mm luokkaa. Kapeudesta ei tässä kohtaa ole hyötyä, koska suurin irtohöyrystin tulisi olemaan paikallaan koritilan leveydessä ainoa irtohöyrystin, niin periaatteessa ei ole mitään hyötyä tehdä alle 2200 mm leveää laitetta. Noin 2500 leveän koritilaan ei jää kuitenkaan hyödynnettävää tilaa irtohöyrystimen sivuilla oli laitteen leveys 2200 mm tai 1950 mm.



Kuva 57. Ensimmäinen prototyyppi ilman sivukuoria.

Laitteen paksuus jäi prototyypissä 200 mm:iin, joka on linjassa kilpailijoiden kanssa. Myyntiosaston mukaan tämän mitan ylittäminenäkään ei olisi suuri asia. Hintatavoitteena oli karkeasti alle 2500 € omakustannushinta, joka saavutettiin kyllä.

Tuoteperhe vaatii vielä lisää suunnittelua, ennen kuin se vastaa kokonaisuudessaan tavoitteita. Irtohöyrystimeen on tehtävä muutoksia, että saataisiin kapasiteettia kasvatettua riittävälle tasolle. Se onnistuu höyrystinkennoa muuttamalla ja/tai puhaltimien määrää lisäämällä tai valitsemalla niistä tehokkaampia malleja.

Koska MTE7 oli suunniteltu vain yhtä tarkoitusta varten, ei siitä pystynyt saada osia ja komponentteja uudelleenkäyttöön niin kuin toive oli. Tässä toteutuikin Sawhney:n (1998) tuoteperhesuunnittelun riskit. Kun vanhassa tuotteessa ei ole päivitettävyyttä niin monimutkaisuus lisääntyy, tuotteen päivittämismahdollisuudet huononevat ja joustavuus katoaa. Hyväksi havaitut elementit tarjoavat tuoteperhesuunnittelussa uudelleenkäytettyinä monia etuja. Tuotekehitysriskit ja monimutkaisuus vähenee ja tuote on helpommin päivitettävissä, joka parantaa joustavuutta ja tuotantoprosessin reagoitokykyä.

4.4.3 BfP:n hyödyntäminen

Kuten kappaleessa 3.7 todetaan, että BfP on suunniteltu osittelulogiikan, moduuliryhmien, rajapintojen, arkkitehtuurin ja konfigurointitietämyksen yhtäaikaiseen harkintaan, jolla saavutetaan halutut modularisaation, tuotealustojen, tuoteperheiden ja tuotekonfiguroinnin hyödyt. BfP:n tähtäimenä on siis rationalisoida olemassa olevat tuotevariaatiot kohti modulaarista tuoteperhettä, joka mahdollistaa tuotekonfiguroinnin. BfP metodi on arvokas tapauksissa, joilla on samantapainen päämäärä. BfP:tä on tarkoitus käyttää silloin, kun ajan saatossa on tuotevalikoima kasvanut liian suureksi eikä se vastaa välttämättä enää asiakastarpeisiin tehokkaasti ja optimaalisella tavalla. Koska BfP:n pääpointtina ei ole suunnitella kokonaan uutta tuotevalikoimaa, vaan prosessi on

enemmänkin uudelleensuunnittelua vanhoja ratkaisuja käyttäen niin MTE7:n kohdalla tämä voi olla haastavaa. Edellisissä kappaleissa 4.4.1 ja 4.4.2 todetaan jo, että vanhoja ratkaisuja uudelleenkäyttämällä törmättiin enemmänkin haasteisiin, kuin ratkaisuihin. Ainoastaan komponenttitasolla pystyttiin käyttämään samoja ratkaisuja kuin MTE7:ssä, kuten puhallin ja paine-erokytkin, mutta muuten lista oli lyhyt. Irtohöyrystintuoteperheen suunnittelun kohdalla ei vain ole olemassa olevaa tuotevalikoimaa, jota lähdettäisiin rationalisoimaan. On vain yksi olemassa oleva tuote, jonka rinnalle suunnitellaan uusi irtohöyrystintuoteperhe.

Lehtosen (2011) mukaan uuden suunnittelu on riskialttiimpaa, kuin vanhan tuotteen päivittäminen. Sen kannalta olisikin parempi, että irtohöyrystintuoteperheen suunnittelua varten olisi BfP:n kannalta laajempi tuotevariaatiopohja, josta lähteä kehittämään. Tässä tapauksessa uuden suunnittelun riski on otettava. BfP:ssä on myös ideana, että sitä käyttää tuotekehitysprosessin aikana koko organisaatio, joka osallistuu tuotekavalkadin rationalisoimiseen. Näin toki yrityksessä tapahtuu koko ajan, mutta suunnitteluresurssien ollessa rajalliset, ei olisi järkevää sitoa liikaa resursseja aiheeseen, josta saatava hyöty ei olisi niin mittava, kuin mahdollinen määrällinen työ. BfP:n käytön pystyy näkemään järkevänä, kun kohteena on Pakkasen (2015) case-esimerkkinäkin ollut Prima Power, joka valmistaa levytävän prosessointilaitteita, kuten lastauslaitteistoja, portaalirobotteja, pöytiä, kuljettimia ja liukuhihnoja. Esimerkissä saatiin tuotteisto järjeistettyä myynti-toimitusketjulle järkevämpään muotoon aiemmin sekavasta määrästä eri tuotteita. Pakkanen (2015) toki toteaa myös, että BfP ei itsessään määrittele työmäärää tarkasti ja että oletuksena on helpottaa tuoteperheen sisällön määrittelemistä. Tämän työn jatkoon kannalta on hyvä käydä askelmat lyhyesti läpi, jotta pystytään toteamaan BfP:ssä käytettyjen askelmien mahdollinen apu tuoteperheen sisällön määrittelemisessä.

Askel 1

Tässä askelmassa on kyse modulaarisen tuoteperheen tavoitteen asettamisesta. Ensin ajatellaan prosessin laajuus. Valitaan nykyisestä tuotevalikoimasta ne tuotteet, joita pitää analysoida sekä suunnitella pidemmälle BfP prosessissa. Tämä pystytään nähdä suoraan kappaleesta 2.3. Tarpeena oli siis saada noin 2000 mm leveä 6 kW, 1400 mm leveä 4 kW ja 700 mm leveä 2 kW yhteen suuntaan puhaltavat irtohöyrystimet suunniteltua käyttämällä mahdollisimman paljon MTE7:sta tuttuja ratkaisuja. Myös 1400 mm leveä kahteen suuntaan puhaltava 8 kW versio sisältynee tähän tavoitteeseen. MTE7:n on siis tässä se ”tuotevalikoima”.

Sitten mietitään suunnittelun tarkoitus. BfP ehdottaa joko CSL:n käyttöä tai syy-seuraus-kaaviota. CSL on hyvä työkalu, mutta vaatii runsaasti pohdintaa, resursseja ja toiminee paremmin koko tuotteiston elementtien määrittelemisessä liiketoimintaorientoituneessa viitekehityksessä ja silloin kun tavoitteet tuotekehityksessä ovat kutakuinkin epäselviä. CSL:ssä pyrkii vastaamaan siihen, miten tuote sopisi yrityksen tilaus-toimitusketjuun

asiakkaan tai markkinoiden tarpeet huomioiden, kuten kappaleessa 3.6.1 todetaan. Tässä syy-seuraus-kaavion tulkinta on nopeampi tapa ymmärtää minkä takia suunnittelua tehtäisiin. Syy-seuraus-kaavio on työvaihe BfP:n askelmassa kuin taas CSL on enemmänkin prosessi BfP:n prosessin askelmassa, joten nyt suoritetaan pelkkä työvaihe.

Jos ajatellaan, että käytetään MTE7:n ratkaisuja uudelleen hyväksi, niin syy-seuraus-kaaviota tutkimalla pystytään lyhyesti toteamaan, että yhtenevyyksien hyödyntäminen on vanhan uudelleenkäyttöä standardoinnilla, joka mahdollistaa modularisoinnin (Kuva 9). Variaatioilla saavutetaan hyöty saada tuote sopimaan tarkoitukseensa, jonka modularisointi mahdollistaa. Modularisoinnin kautta saavutetaan uudelleenkäytön hyötyjä, josta seuraa vähentynyt suunnittelun tarve tulevaisuudessa. Kaavio antaa siis hyvän kuvan siitä mikä voisi olla modulaarisen tuoteperheen päämäärän tarkoitus.

Jokainen kaavion kohta voidaan purkaa vielä tarkemmin osiinsa, jos vaaditaan tarkempia perusteita sille, miksi suunnitellaan. Esimerkiksi *'reduction in component quality issues'* voidaan ajatella kerrottavan moduulien suunnittelemisen kautta niin, että yksittäiset moduulit voidaan testata ja vasta toimivina lisätä valmistettavaan tuotteeseen, missä ko. kohdan hyöty realisoituu. Kaavio toiminee vakuutteluna tuotteesta niin suunnitteluryhmälle, yrityksen johdolle kuin rahoittajallekin.

Tämä työ rajaa tarkastelun ensimmäiseen valmistettuun ja testattuun noin 2000 mm leveään irtohöyrystinprototyyppiin saakka.

Askel 2

Tässä askelmassa tehdään alustava moduuleihin jako geneerisen elementtimallin mukaan. Alustavina moduuleina toimivat abstraktit elementtimallit, jotka toimivat geneerisiä elementtejä sen mukaisesti mitä itsenäisiä kokonaisuuksia yritys ajattelee heidän tuotteisiinsa kuuluvan. Niitä ovat esimerkiksi osajärjestelmät, kokoonpanot tai osat.

Kappaleessa 3.3 todetaan lyhyesti referoituna, että moduuli on tuoteolio, josta löytyy selkeä toiminto ja vaaditut ominaisuudet toiminnosta. Mietittäessä miten alustavat moduulit valitaan niin kappaleessa 4.1 on MTE7 purettu osiinsa ja niistä pystytään koostamaan ensimmäiset alustavat moduulit geneerisiksi elementtimalleiksi. Kuvissa 46, 47 ja 48 nähdään irtohöyrystimen osat, joiden mukaan saadaan muodostettua seuraavat alustavat moduulit:

1. Runkolevy, eli irtohöyrystimen alusta
2. Höyrystinkenno
3. Sähkökeskus
4. Paine-erokytin
5. Putkikokoonpano
6. Puhallinkotelokokoonpano
7. Tippavesiallas
8. Sivukuoret
9. Törmäyssuoja

Ideana oli löytää geneerisiksi elementeiksi ne moduuliehdotelmat, joissa ei ole yhtenevyyksiä toistensa kanssa. Jos kaksi tai useampi ehdotus olisi sisältänyt yhteneväisyyksiä, niin vain yksi olisi valittu. Nyt kukin moduuli sisältää omat rajapinnat ja tarkat tehtävänsä. Yksikään moduuli ei nimestään huolimatta ole yksittäinen osa, vaan osien ryhmä tai kokoonpano. Nämä moduulit voivat siis sisältää useita osia muodostaessaan toimivan kokonaisuuden. Niiden rajapinnat täyttävät tehtävät, jotta moduuli olisi vaihtokelpoinen ja itsenäinen sekä käytettävissä useassa tuotevariaatiossa, kuten Lehtonen (2007) M-modulaarisuutta määrittelee. Joillain näistä moduuleista toimii myös elinkaarimodulaarisuuden ajatus perustaa moduulit syihin, jotka löytyvät valmistuksesta, huollosta ja logistiikasta, jonka Lehtonen (2007) myös määrittelee. Esimerkiksi putkikokoonpano moduulina pyrkisi vastaamaan irtohöyrystimien tuotantolinjaston yksittäisten putkien asennusaikahaasteeseen. Omana moduulinaan putkikokoonpano olisi riippumaton siitä, kuinka kauan itse moduulia valmistetaan, mutta toimivine rajapintoineen asennusaika olisi murto-osa kaikkien putkien ja ko. kokoonpanoon kuuluvien osien sekä komponenttien nykyisistä asennusajoista.

Tässä irtohöyrystin on siis jaettu moduuleihin, pienempiin liitännöiltään määriteltyihin rakenneosiin, joilla pyritään toteuttamaan yrityksen tavoitteita, kuten Erixon (1998) määrittelee. Toimivilla moduuleilla pystyttäisiin vähentämään valmistusaikoja ja pystyttäisiin reagoimaan nopeammin tilaus-toimitusketjun haasteisiin. Nämä seikat nähdään osaltaan myös kuvan 9 syy-seuraus-kaaviosta.

Askel 3

Tässä askelmassa luonnostellaan arkkitehtuuri siitä mihin geneeriset elementit ja niiden rajapinnat määritellään. Arkkitehtuuri ajatellaan geneeristen elementtien layoutin kuvauksena, joka on määritelty nyt MTE7:aan perustuen. Tässä riittää rajapintojen tunnistaminen.

BfP tähtää modulaariseen arkkitehtuuriin, joten tässä tapauksessa parhaana vaihtoehtona soveltuisi taulukon 2 mukainen suljettu modulaarinen arkkitehtuuri kuvaamaan irtohöyrystimen rakennetta. Irtohöyrystin ei toimiakseen välttämättä kaipaa modulaarista arkkitehtuuria ja suljetulla kiinteällä arkkitehtuurilla pystyttäisiin luomaan yhtä hyvä tuote. Ilman modulaarista arkkitehtuuria vain menetetään hyöty saavuttaa parempi tuotteen päivitettävyyys, mikä voisi tulla vastaan suljetun kiinteän arkkitehtuurin kohdalla.

Liian spesifiksi määritelty laite ei pysty täyttämään pitkälle vietyä uusien ominaisuuksien ja tarpeiden haasteita ja johon modulaarisuus olisi voinut tuoda ratkaisun vaihdettavien päivitettyjen moduulien muodossa. Modulaarisen arkkitehtuurin johdosta tuotteeseen voidaan rakentaa modulaarisuutta ja määriteltyä rajapintoja yrityksen sisäiseen käyttöön, joihin voidaan tukeutua myös muissa tuotteissa.

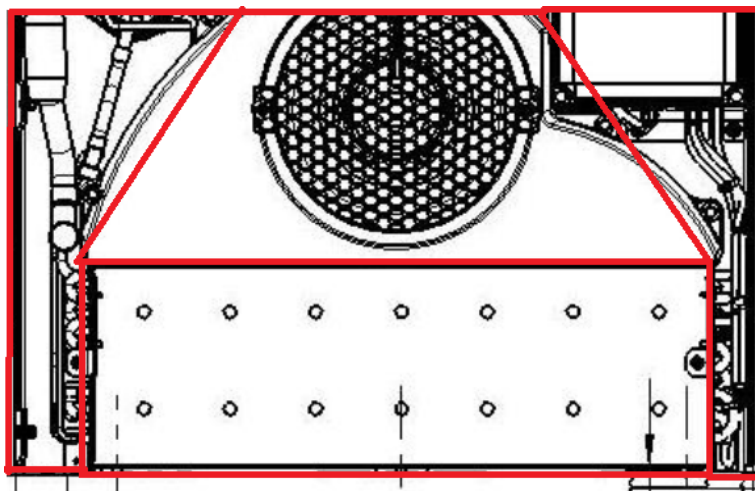
Tuotealustaksi valikoituu irtohöyrystimen runkolevy. Rajapintoja tutkitaan nopeasti DSM:n avulla taulukossa 5:

Taulukko 5. Irtohöyrystintuoteperheen DSM-taulukko.

DSM-taulukko	Runkolevy	Höyrystinkenno	Sähkökeskus	Paine-erokytkin	Putkikokoonpano	Puhallinkotelokok.	Tippavesiallas	Sivukuoret	Törmäyssuoja
Runkolevy									
Höyrystinkenno	x								
Sähkökeskus	x								
Paine-erokytkin	x	x	x						
Putkikokoonpano	x	x							
Puhallinkotelokok.	x	x	x						
Tippavesiallas		x	x						
Sivukuoret					x				
Törmäyssuoja					x			x	

Runkolevyllä ja höyrystinkennolla on eniten rajapintoja muiden moduulien kanssa, mikä on hyvä muistaa suunnittelun edetessä, että ne on määritelty hyvin. Tämä takaa sen, että jokainen irtohöyrystinkoko toimii rajapintojen osalta eri moduulien kanssa.

Rajapinnat visualisoimalla pystytään esittämään nopeimmin se, miten ja missä rajapinnat olisivat. Tässä vaiheessa tukeudutaan vielä vanhaan MTE7:n rakenteeseen, jolloin parhaimman kuvan rajapinnoista saadaan luonnostelemalla ne kuvaa 49 apuna käyttäen. Rajapinnat on kuvattu kuvassa 58 punaisin viivoin. Koska MTE7:n ei sisällä kaikki ajateltuja suunniteltavan irtohöyrystimen osia, niin rajapinnat kuvassa ovat hyvin viitteelliset.



Kuva 58. Visuaalinen irtohöyrystimen rajapintaesitys MTE7:ään perustuen.

Askel 4

Tässä askelmassa asetetaan tavoite asiakasnäkökulmasta katsoen. Tuoteperheen monimuotoisuus pitäisi perustella asiakastarpeesta ja kokemus pitäisi saada olemassa olevien laitteiden avulla asiakasrajapinnasta. BfP ei tähtää täysin uuden tuoteperheen suunnitteluun vaan tukeutuu olemassa oleviin tuotteisiin. Tässä tapauksessa onkin hieman haastavaa saada tukea olemassa olevasta tuotteistosta, koska suunnitellaan täysin uutta tuoteperhettä ja nykyistä irtohöyrystintä kohtaan asiakkaalla on käytännössä vain vähän tarpeita. Irtohöyrystimen pitäisi totta kai olla näkymätön ja ilmainen, mutta jos realistisia tarpeita ajatellaan niin yksi tärkeimmistä ominaisuuksista on toimintavarmuus. Irtohöyrystimen häiriöt pahimmillaan pilaavat toimitettavat tavarat ja häiriöistä seuranneet huoltokäynnit katkaisevat kuljetukset aiheuttaen turhia kustannuksia asiakkaalle. Toimintavarmuutta ei pysty suunnitella erikseen konfiguroitavaksi moduuliksi, vaan se on tuotteen itseisarvo. Toimintavarmuuteen voidaan vaikuttaa komponenttivalinnoilla ja kattavilla testeillä.

Jonkunlaista tarpeena voidaan pitää irtohöyrystimen asennettavuutta. Se toki on toisarvoinen asiakastarve. Kuka sitten mielletään asiakkaaksi? Suunnittelijan näkökulmasta asiakkaina voivat olla niin oman tehtaan työntekijät tuotantolinjalla, kuin laitteen asentajat ja loppukäyttäjätkin eli kuskit tai kuljetusliikkeet. Tuotantolinjaa ajatellen pitää tuote suunnitella helposti valmistettavaksi, jotta valmistuskustannukset pysyvät matalina. Laitteen asentajia ajatellen pitää tuote suunnitella helpoksi asentaa ja huoltaa. Asentajilta ja huoltajilta tulee aina toisen käden tieto asiakkaille siitä mikä laite on kannattavaa hankkia. Positiivinen mielikuva asennuksista helpottaa aina myyntiä. Tuote pitää olla siis helppo huoltaa, jos ja kun sille on tarvetta. Asiakkaalle viimeisimmät tarpeet voivat olla ulkonäkö ja ehkä joiltain osin tuotteen koko.

Näihin kaikkiin seikkoihin vastataan suunnittelulla. Tässä askelmassa oli tarkoitus löytää syitä monimuotoisuuden lisäämiselle asiakastarpeesta johtuen, mutta yksittäiselle

irtohöyrystimelle ei löydy selkeää asiakastarvetta, mikä siihen johtaisi. Asiakastarpeet tulee katettua kolmella eri kokoisella irtohöyrystimellä, eikä siten erillistä muunneltavuussääntöä pysty tässä tarkasti määrittellä.

Askel 5

Tässä askelmassa määritellään lisää tuoteperheen perusteita analysoimalla minkälaisia standardointimahdollisuuksia geneeristen elementtien liittyvillä osilla ja kokoonpanoilla on. Tarkoituksena on löytää minimimäärä variaatioita, jotka täyttävät asiakastarpeet. Tästä voitaisiin tehdä BfP:n ehdottama PFMP, mutta tässä tapauksessa se jäisi ohueksi. Erityisiä asiakastarpeita ei tullut ilmi, joista tarvitsisi suunnitella oma variaationsa tuoteperheeseen. Lähtökohtaisesti irtohöyrystimä suunnitellaan kolme (tai neljä) eri kokoa, jotka itsessään vastaavat eri asiakastarpeisiin olemalla itse tuoteperheen ilmentyminä kukin oma variaationsa. Kolmen irtohöyrystimen tarve tulee liiketoimintaympäristöstä. Yksittäisellä irtohöyrystimellä ei siis ole merkittävää asiakastarvetta. Tärkeimmät tarpeet katetaan koko tuoteperheellä ja ne oli määritelty jo suunnittelun laajuuteen askelmassa 1. Tuoteperhe kattaa irtohöyrystimien kokovariaatiot, joilla pystyy kattamaan riittävän määrän korijakovaihtoehtoja.

Jokainen irtohöyrystin on siis toisinto suurimmasta mallista. Vain pituus, puhallinmäärä ja kapasiteetti muuttuvat. Nyt voidaan siis miettiä mistä osista pystyttäisiin suunnittelemaan geneeriset elementit ja saadaanko niistä toteutettua moduuli, joka pyritään laatimaan pienellä standardiosaluettelolla.

Taulukkoa 5 tutkimalla nähdään jo, että geneeristen elementtien nimet paljastavat mistä voisi olla moduuliksi. Puhallinkotelokokoonpano voitaisiin rakentaa kuvan 47 osista. Puhallinkotelokokoonpano periaatteessa rakentuu kahdesta pienemmästä kokoonpanosta, jotka asettuvat kohdilleen runkolevyyn kiinnittämällä. Kahdesta erillisestä kokoonpanosta voidaan miettiä kannattaisiko niitä jalostaa ja voisiko kaikki kokoonpanon osat olla esimerkiksi yhdellä omalla pohjalevyllä kiinnitettyinä, joka liitettäisiin runkolevyyn kiinni. Näin tuotantolinjalla kuluisi vähemmän aikaa, kun moduuli olisi valmistettu muualla. Puhallin liitetään suoraan sähkökeskukseen, mutta nyt voisi ajatella puhaltimen (puhallinkotelokokoonpanon yksi osa) ja sähkökeskuksen rajapinnalle, että siihen tulisi standardiliitin, joka mahdollistaa nopean kytkemisen ja laitteen testaamisen ennen tuotantolinjalla asennusta. Tämä moduuli toimisi jokaisessa kolmessa kokovariantissa.

Toinen vastaavan tyyppinen moduuli saataisiin tehtyä putkikokoonpanosta. Sen pystyisi valmistamaan ennen tuotantolinjaa, ja asennus olisi nopea kahden liitäntäpinnan kiinnijuottamisprosessi. Sama moduuli toimisi jokaisessa kolmessa kokovariantissa.

Muita niin ilmiselviä moduulivaihtoehtoja ei ole. Irtohöyrystimen sivukuorista ja (sivu)törmäyssuojista voisi tehdä moduulin, mutta todennäköisempää on, että sivukuoret

tultaisiin asentamaan juuri ennen laitteen pakkaamista, jolloin rakenteellisen ja dekoratiivisen osan yhdistäminen moduuliksi olisi typerää.

Tässä askeleessa olisi tavoitteena lisätä yhtenevyyttä olemassa oleviin tuotteisiin (tässä tapauksessa suunnittelun alla oleviin) ja löytää pienin määrä variaatioita kattamaan asiakastarpeet. Tuloksena saatiin jonkinlainen alustava rakenne tuoteperheelle moduulien turvin.

Askel 6

Tässä askelmassa pohditaan konfigurointitietämystä, jonka selkeä esitys on hyödyllistä, kun muutoksia, päivityksiä tai täysin uutta versiota tuoteperheestä suunnitellaan. Askeleessa on siis tarkoituksena määritellä mitä asiakastarvetta pitää pohtia, kun kutakin geneeristä elementtiä määritellään. Työkaluina ovat K- ja V-matriisi.

Tämän askelman systemaattinen suorittaminen tällä tuoteperheellä on turha. Kolme tuoteperheen varianttia vastaa kolmeen liiketoimintaympäristöstä määräytyneeseen varianttipyyntöön. Syyt variaatioille on jo luotu, joten uutta näkökantaa tästä askeleesta ei löydy. Jokainen geneerinen elementti on yhteensopiva asiakastarpeen kanssa.

Askel 7

Tässä askelmassa määritellään moduulien ja rajapintojen rakenne tarkemmalla tasolla. Tässä pitää siis tunnistaa arkkitehtuurista standardoidut, konfiguroitavat, osittain konfiguroitavat ja uniikit elementit.

Jos ajatellaan mitä modulaarisuuden tyyppejä edellä ajatelluista moduuleista löytyy. Putkikokoonpanomoduuli on 'yhteinen komponentti'-moduuli, koska se on käytössä useassa eri tuotteessa, tai tässä tapauksessa variantissa. Myös puhallikotelokokoonpano voidaan ajatella kuuluvan tähän kategoriaan. Askelmassa 5 ei tätä erikseen määritelty, mutta periaatteessa höyrystinkeno voisi olla 'leikkausmodulaarisuuden' yksi ilmentymä. Jos tippa-allas valmistettaisiin jostain profiilista, kuuluisi myös se tähän ilmentymään. Tippa-allas voitaisiin leikata oikeaan pituuteensa riippuen siitä mikä irtohöyrystinmalli on kyseessä.

Rajapinnat muutamalle moduuleille lyhyesti eriteltynä: Putkikokoonpanolle rajapinnat löytyvät höyrystinkennosta ja irtohöyrystimen takapinnasta. Höyrystinkennossa on juotettavat liitokset ja irtohöyrystimen takapinnassa liittimet pääkoneen putkia varten. Puhallikotelokokoonpanolle on runkolevyssä rajapintana väärinpäin olevat niittimutterit, jotka ohjaavat puhallinkotelot paikoilleen, mikäli kokoonpanolle ei suunnitella omaa pohjalevyä, kuten edellä mainittiin.

Arkkitehtuurista pitää vielä tunnistaa elementtien tyypit. Standardielementtinä toimii puhallinkotelokokoonpano. Se toimii sellaisenaan läpi tuotevariaatioiden. Yhtä lailla

putkikokoonpano on tällainen elementti sekä sähkökeskus, paine-erokytkin ja sivukuoret. Höyrystinkenno on uniikkielementti, koska jokaisella tuotevariaatiolla se on oman kokoisensa ja todennäköisimmin juuri käyttötarkoitukseensa ja teholuokkaansa optimoitu malli. Tippavesiallas on yhtä lailla uniikkielementti, koska jokaisella höyrystinkennolla on oman levyinen altaansa. Törmäyssuoja ovat osaksi konfiguroitava elementti. Sivulevyt tulevat olemaan kaikissa malleissa samat, mutta todennäköisimmin lisävarusteena saatava törmäystanko tulisi olemaan pituuden suhteen hieman erilainen jokaisessa tuotevariantissa.

Tässä askelmassa tuloksena on hieman selkeämpi arkkitehtuurin, moduulien ja niiden rajapintojen tietämys, josta saadaan oma informaatioelementti moduulijärjestelmään.

Askel 8

Tässä askelmassa tarkoituksena on saada asiakastarpeet sopimaan konfigurointitietämykseen ja saada tehtyä sen tarkempi määrittely. Tämä askel jää yhtä tyngäksi kuin askel 6 ja samasta syystä. Tätä varten löytyy toki hienot V- ja K-matriisityökalut, mutta konfigurointia ei löydy asiakastarpeille.

Askel 9

Tämä askel olisi tärkeä, kun tehtäisiin uudelleensuunnittelua tai uutta tuotetta ja hyödynnettäisiin joitain tämän tuoteperheen valmiita moduuleita. Suositeltuna dokumentointitapana tässä askelmassa on PSBP. Tässä tapauksessa PSBP:n anti jäisi kovin laihaksi, joten sitä ei tässä nyt esitetä. Selvää on, että kaikenlainen dokumentointi on aina tärkeää ja varsinkin silloin, kun jotain menee pieleen ja tarvitsee löytää syyt sekä apu asian korjaamiseen.

Askel 10

Tässä askelmassa tehdään liiketoimintavaikutusanalyysi. Kappaleessa 3.8.10 mainitaan, että tuotekehityksen analysoiminen on tärkeää, että tiedettäisiin, onko tavoitteet saavutettu ja milloin tuoteperhe-ehdotus on kilpailukykyinen. Liiketoimintavaikutusanalyysin tuloksena on arvio tuoteperhesuunnitteluprojektin vaikutuksista. Prosessiin liittyvät ohjausperiaatteet ja -mekanismit analysoidaan tässä askelmassa. Nyt lähes kokonaan uutta tuoteperhettä suunniteltaessa huomataan, että vanhan tuotteiston rationalisoiminen tavallaan epäonnistuu, koska MTE7:sta ei tule mitään uudelleenkäytettävää irtohöyrystintuoteperheeseen käyttöön. On siis turha miettiä mitkä tuotevariaatiot, kokoonpanot ja osat jäävät pois, jonka avulla pystytään osoittamaan uuden tuoteperheajattelun käyttökelpoisemmaksi vanhaan tuotteistoon verrattuna. Selvää on, että tuoteperheen yhteisillä komponenteilla ja moduuleilla saadaan hyötyä liiketoiminnallisesti katsoen niitä myös yrityksen muissa tuotteissa käytettäessä. Yhteisillä ratkaisuilla saavutetaan etua tuotannossa, koska pystytään esimerkiksi

kouluttamaan asentaja valmistamaan yksi tuoteperheen kokovariantti (ilmentymä), niin samoilla opeilla onnistuu seuraavatkin tuoteperheen kokovariantit valmistaminen.

Jos analyysiä puretaan hieman osiin niin arkkitehtuuri esimerkiksi mahdollistaa suunnittelun uudelleenkäytön rajapintojen käytön johdosta. Niiden käyttö säästää kustannuksia, lisää laatua ja vaikuttaa resursseihin, kun suunnitellaan esim. uutta toimintoa vanhaan hyvin määriteltyn ja dokumentoituun arkkitehtuuriin. Hyvin määritellyt rajapinnat esimerkiksi mahdollistavat tuotteen moduulien ja osakokoonpanojen valmistamisen jossain muualla kuin valmistuslinjan välittömässä läheisyydessä, joka säästää aikaa ja resurssia tuotantolinjalla. Nämä kaikki mekanismit analysoidaan ja mietitään, miten paljon muutoksia on tullut laatuun, kustannuksiin (tulot/menot) ja resurssien käyttöön. Tässä voidaan tuloksista siis päättää, onko suunniteltu tuoteperhe järkevä ottaa tuotantoon, vai jatketaanko vanhalla tuotteistolla ennen rationalisointia. Analyysi antaa myös arvion missä olisi vielä parannettavaa ja mikä on arvioitu suunnittelun takaisinmaksuaika. Analysoinnissa käytetään askelmissa 7, 8 ja 9 aikaan saatuja rakenteita ja osittain askelmasta 1 löydetään se tieto missä liiketoimintaympäristössä liikutaan ja minkälaisilla tuotteilla. Hyvän käsityksen kaikkiin analysoitaviin kohtiin saa kuvaa 43 tutkimalla.

Tämän askelman hyötynä on saada arvio tuoteperheestä kokonaisuutena ja luoda onnistumisen mittarit tarkastelua varten.

4.4.4 BfP:llä saavutetut tulokset

Nopealla läpilyönnillä BfP:n askelmista saatiin lisää ymmärrystä siitä, miten tuoteperhe kannattaisi suunnitella. Kaikkien askelmien läpi käyminen ei ollut tällä kertaa täysin tarpeellista, mutta huomattavinta hyötyä tarjosi rajapintojen tunnistaminen sekä niiden avulla luodut mahdolliset moduulit. Tästä prosessista saa varmasti hyvää apua myös tuleviin suunnitelmiin, eikä pelkästään tämän tuoteperhesuunnittelun päätökseen viemiseen.

BfP on prosessina selkeästi määriteltä ja vaatii vain työtä ja määrittelyä yrityksen henkilöstöltä. Parhain hyöty todennäköisimmin saadaan kuitenkin silloin kun tuotevalikoima on päässyt kasvamaan hyvin suureksi, sen hallinnoiminen on myynnin näkökulmasta todella haastavaa ja tuotevalikoimasta löytyy päällekkäisiä ratkaisuja samoihin ongelmiin useita. Täysin uuden tuotteen suunnittelussa prosessi on ehkä liian raskas, mutta auttaa silti tunnistamaan oleellisia suunnittelulle hyödyllisiä elementtejä.

BfP on tähän työhön kuvattu teoriaosuudessa prosessina kokonaan, koska tarkoituksena oli esittää mahdollisimman laajalti tuoteperhesuunnitteluun liittyviä teorioita, jotka mm. BfP:n kautta tulivat esille. Työssä esille tulleet esimerkit tuotealustoista, standardoinnista, modularisoinnista ja arkkitehtuurista voivat mahdollisesti auttaa myös muissa yrityksen tuotekehityskuvioissa. Alustavaa yrityksen koko tuotteiston tuoteperhesuunnittelua

moduuliarkkitehtuurin kannalta on jo pohdittu. Tuotteisto pitäisi luoda konfigurointimatriisiin työkaluksi asiakkaille ja myyntihenkilöstölle, jotka pystyisivät valitsemaan sopivimman kylmäkonemallin, teholuokan ja käyttövoiman sekä lisävarusteet helposti luoden samalla tuoterakenteen tuotantolinjalle. Tähän prosessiin BfP pystyy tarjota työkalut.

4.4.5 Muut suunnittelussa huomioitavat asiat

Suunnittelun kannalta muita huomioitavia asioita ovat siihen vaikuttavat muuttuvat ATP-sopimukset ja kylmäaineiden pienenevät GWP-arvot. Muuttuvissa ATP-sopimuksissa suurinta roolia tällä hetkellä toteuttanee korin ilmatilavuuden vaihtuvuusvaatimuksien mahdollinen muuttuva täytöntöönpano. Jos uusi säännös lyö itsensä läpi, niin muutoksen alla eivät ole pelkästään Lumikko Technologies Oy:n laitteet vaan kaikkien valmistajien laitteet. Nyt jo on selvää, ettei ehdotuksessa pyydettyihin ilmatilavuuden vaihtuvuusvaatimuslukemiin pääse tällä hetkellä yksikään valmistaja ja ehdotuksen läpi meneminen vaikuttaakin epätodennäköiseltä.

Irtohöyrystintuoteperheen kannalta pitää vain miettiä BfP:ssä esiin tullutta puhallinkotelokokoonpanomoduulin mahdollista vaihtamista tehokkaampaan moduuliin, jos vaihtuvuusvaatimuserä kasvaa. Muita selkeitä tapoja vastata korkeampaan rajaan ei oikein löydy. GWP-arvojen muuttuminen ei juurikaan vaikuta itse irtohöyrystimen toimintaan, mutta pääkoneen suunnittelussa se on vaikuttavana tekijänä. Tällainen asia on jo nyt otettu huomioon, ettei se siis vaikuta irtohöyrystimiinkään.

Kuumakaasusulatuksen miettiminen vastussulatuksen sijaan oli myös yksi aihe mikä piti tämän työn aikana selvittää. Pohdinta periaatteessa tuli selväksi heti ensimmäisten kahvipöytäkeskustelujen aikana. Kuumakaasusulatus toimii erinomaisesti höyrystinkennon jään sulattamisessa, mutta pelkkä kuumakaasulla hoidettu koritilan lämmitys ei riitä kovin pitkälle. Vastuslämmitystä tarvittaneen aina varsinkin pohjoisella pallonpuoliskolla.

5. YHTEENVETO

Tämän työn tarkoituksena oli suunnitella irtohöyrystintuoteperhe Lumikko Technologies Oy:n tuotteisiin sopiviksi palvelemaan nykyistä lämpötilansäätölaitekantaa. Irtohöyrystintuoteperhe pyrkii vastaamaan suorituskyky, koko- ja hintarajatavoitteisiin, jotka tutkittiin vertailemalla kilpailijoiden laitteita kokonaisvaltaisesti. Suunniteltavissa irtohöyrystimissä tavoitteena oli saada aikaiseksi tehokkaampi, pienempi ja edullisempi laite kuin kilpailijoilla.

Suunnittelu tehtiin yhteen suuntaan puhaltavalle noin 2000 mm leveälle 6 kW teholuokan irtohöyrystimelle, joka toimii pohjana myös kahdelle pienemmälle noin 1400 mm leveälle 4 kW teholuokan ja 700 mm leveälle 2 kW teholuokan yhteen suuntaan puhaltaville irtohöyrystimelle sekä lisäksi 1400 mm leveälle 8 kW teholuokan kahteen suuntaan puhaltavalle irtohöyrystimelle. Tämä työ rajautui käsittelemään tuoteperheen leveimmän mallin ensimmäistä irtohöyrystinprototyyppiä suunnittelua ja sen testaamista.

Pyrkimyksenä oli käyttää yrityksen nykytuotannon MTE7 irtohöyrystimen tuttuja ratkaisuja ja mahdollisesti samoja komponentteja kustannusten minimoimiseksi. Suunnittelussa oli tarkoitus miettiä myös kuumakaasusulatuksen käyttöä vastussulatuksen sijaan. Suunnittelussa otettiin huomioon alati muuttuva helposti pilaantuvien elintarvikkeiden kansainvälisiä kuljetuksia ja tällaisissa kuljetuksissa käytettävää erityiskalustoa koskeva sopimus eli ATP-sopimus ja kylmäaineiden pienentyneet kasvihuonehaitallisuusarvot eli GWP-arvot. Suunnittelun avuksi käytiin läpi tuoteperhesuunnitteluun sopivia teorioita ja päällimmäisinä niistä käytössä olivat Product Structuring Principles (PSP) eli tuotteen rakenteen muotoiluperiaatteet ja Brownfield Process (BfP) eli modulaarisen tuoteperheen suunnitteluteoria.

PSP:n suunnitteluperiaatteista erilaisten komponenttien tilavarausta hyödyntämällä saatiin suunnitteluun ajattelutapa miettiä osille ja komponenteille oma tila kullekin niin, että jokainen kokovariantti pystyi toimia itsenäisenä laiteyksikkönä. Tilavarauksen haasteeksi tuli lähinnä komponentit vanhemmasta MTE7 irtohöyrystimestä. Niistä tuli enemmän rajoituksia kuin hyötyjä tuoteperheelle. Tällä metodilla suunniteltava tuoteperhe vaatii vielä suunnittelua, ennen kuin se vastaa kokonaisuudessaan tavoitteita. Ensimmäinen irtohöyrystinprototyyppi jäi suorituskyvyltään vain hieman kilpailijoista, mutta koon ja hinnan puolesta saavutti tavoitteet.

BfP:n merkitys jäi vielä tässä suunnittelussa vähemmälle. BfP on alun perin suunniteltu liian suureksi kasvaneen tuotevalikoiman rationalisoimiseen, jotta se saataisiin suunnittelun avulla kehitettyä modulaariseksi tuoteperheeksi uudelleenkäyttämällä vanhoja ratkaisuja. Tässä työssä ei ollut vastaavaa laajaa tuotevalikoimaa, jota olisi voinut käyttää pohjana, vaan suunnittelu oli lähinnä uuden luomista. BfP toki antoi hyvä tavan

ajatella, siitä miten tuotteisto rationalisoidaan tuoteperheeksi ja lisäsi ymmärrystä mm. modularisoinnista ja rajapintojen merkityksestä tuoteperheessä.

Muuttuvat ATP-sopimukset ja pienenevät GWP-arvot toivat oman mausteensa suunnitteluun, mutta niistä ei suoranaisesti tullut omia rajoitteita tuoteperheen irtohöyrystimiin.

Teoriapohjaa kerättiin tätä työtä varten laajasti, jotta se palvelisi riittävällä tarkkuudella irtohöyrystimien tuoteperhesuunnittelussa. Työssä esille tulleet esimerkit tuotealustoista, standardoinnista, modularisoinnista ja arkkitehtuurista auttavat tässä suunnitteluprosessissa ja mahdollisesti myös muissa yrityksen tuotekehityskuvioissa.

LÄHTEET

Abernathy, W.J. & Utterback, J.M. (1978). Patterns of Industrial Innovation, MIT Technology Review.

AGA Industrial Gases, The Linde Group, web page. Available (accessed 12.09.2018): http://www.aga.fi/en/products_ren/refrigerants/hfo_gases/index.html.

Agard, B. & Kusiak, A. (2004). Data-mining-based methodology for the design of product families. International Journal of Production Research, Vol. 42(15), pp. 2955-2969.

Anderson, D.M. (2014). Building, Supplying, and Designing Product Families, in: Jiao, J., Simpson, T.W., Hölttä-Otto, K. & Siddique, Z. (ed.), Advances in Product Family and Product Platform Design: Methods & Applications, Springer, New York, pp. 589-604.

Anderson, D. & Pine, J. (1997). Agile Product Development for Mass Customization, McGraw-Hill.

Andreasen, M.M. (2011). 45 Years with design methodology, Journal of Engineering Design, Vol. 22(5), pp. 293-332.

ATP Agreement (2016). Available: <http://www.unece.org/trans/main/wp11/atp.html>.

Baldwin, C.Y. & Clark, K.B. (2000). Design rules: The power of modularity, MIT Press, Cambridge, MA.

Bi, Z. & Zhang, W.J. (2001). Modularity technology in manufacturing: Taxonomy and issues, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 18(5), pp. 381-390.

Bongulielmi, L. (2013). Die Konfigurations- and Verträglichkeitsmatrix als Beitrag zur Darstellung konfigurationsrelevanter Aspekte im Produktentstehungsprozess, ETH, Zurich, 218 p.

Borowski, K. (1961). Das Baukastensystem in der Technik, Springer-Verlag.

Brown, D.C. (1998). Defining configuring, Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing: AIEDAM, Vol. 12(4), pp. 301-305.

Collier, D.A. (1981). The measurement and operating benefits of component part commonality, Decision Sci, Vol. 12(1), pp. 85-96.

De Lit, P.G. & Delchambre, A. (2003). Integrated design of a product family and its assembly system, Kluwer Academic Publishers, Massachusetts.

Elgård, P. & Miller, T.H. (1998). Designing Product Families, 13th IPS Research Seminar, Aalborg University, Denmark.

Erens, F. & Verhulst, K. (1997). Architectures for product families, *Computers in Industry*, Vol. 33(2-3), pp. 165-178.

Ericsson, A. & Erixon, G. (1999). *Controlling Design Variants: Modular Product Platforms*, ASME, New York.

Erixon, G. (1998). *Modular Function Deployment - A Method for Product Modularisation*, Royal Institute of Technology.

Fixson, S.K. (2002). *Linking modularity and cost: A methodology to assess cost implications of product architecture differences to support product design*, Massachusetts Institute of Technology, 256 p.

Fujimoto, T. (2007). *Competing to be really, really good - The behind-the-scenes drama of capability building competition in the automobile industry*, International House of Japan, Tokyo, 156 p.

Gershenson, J., Prasad, G.J. & Zhang, Y. (2003). Product modularity: Definitions and benefits, *Journal of Engineering Design*, Vol. 14(3), pp. 295-313.

Hakala, P. & Kaappola, E. (2007). *Kylmälaitoksen suunnittelu*, 2.th ed. Gummerus Kirjapaino, Jyväskylä, 268 p.

Harlou, U. (2006). *Developing product families based on architecture - Contribution to a theory of product families*, Technical University of Denmark, Lyngby, 173 p.

Hengel Which refrigerant fluid will replace the R404A?web page. Available (accessed 31.08.2018): <https://www.hengel.com/en/which-refrigerant-fluid-will-replace-r404a.html>.

Ho, T.H. & Tang, C.S. (1998). *Product variety management: Research advances*, Kluwer Academic Publishers, Boston.

Holmqvist, T. (2004). *Managing Product Variety through Product Architecture*, Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden.

Hubka, V. & Eder, W.E. (1998). *A Total Concept Theory for Engineering Design*, Springer-Verlag, Berlin, 275 p.

Jiao, J., Simpson, T.W., Hölttä-Otto, K. & Siddique, Z. (2014). *Advances in Product Family and Product Platform Design : Methods & Applications*, Springer, New York, 819 p.

Jiao, J., Simpson, T.W. & Siddique, Z. (2007). Product family design and platform-based product development: a state-of-the-art review, *Journal of Intelligent Manufacturing*, Vol. 18(1), pp. 5-29.

Jiao, J., Tseng, M.M., Ma, Q. & Zou, Y. (2000). Generic bill of materials and operations for high-variety production management, *Concurrent Engineering: Research and Applications*, Vol. 8(4), pp. 297-322.

Juuti, T. & Lehtonen, T. (2006). Using Multiple Modular Structure in Delivering Complex Products, August 16-18, Reykjavik, Iceland.

Juuti, T. (2008). Design Management of Products with Variability and Commonality, Tampere University of Technology. Publication 789, 155 p. Available: <http://urn.fi/URN:NBN:fi:tty-200903021019>.

Juuti, T., Lehtonen, T. & Riitahuhta, A. (2007). Managing Re-Use for Agile New Product Development, Proceedings of International Conference on Engineering Design, ICED '07, Aug 28-31, Paris, France.

Kapanen, M. (2017). Kylmäainetilanne 2017, Suomen Kylmäyhdistys ry, pp. 14.

Kielitoimisto Sanakirja - "moduuli", Kotimaisten kielten keskus ja Kielikone Oy, web page. Available (accessed 11.11.2017): <https://www.kielitoimistonsanakirja.fi/>.

Koritehtaat, Koritehtaat Suomessa, Haastattelu 12.6.2017.

Kreindler, D. Editorial: Get Ready For Massive Recalls Driven By Modular Platforms, The Truth About Cars, web page. Available (accessed 20.01.2018): <http://www.thetruthaboutcars.com/2014/04/editorial-get-ready-for-massive-recalls-driven-by-modular-platforms/>.

Kylmäketju Kuljetusvälineiden ATP-luokittelu, Kylmäketju.fi, web page. Available (accessed 24.9.2017): <http://www.kylmaketju.fi/lainsaadanto/atp-sopimus/kuljetusvalineet/>.

Lampel, J. & Mintzberg, H. (1996). Customizing Customization, Sloan Management Review, (Fall), pp. 21-30.

Lehtonen, T. (2007). Designing modular product architecture in the new product development; Designing modular product architecture in the new product development, Tampere University of Technology. Publication 713, 220 p. Available: <http://urn.fi/URN:NBN:fi:tty-200810021062>.

Lehtonen, T., Pakkanen, J. & Juuti, T. (2017). Strategia, modulaarisuus ja käytäntö: Liiketoimintaympäristön kuvaaminen ja tuoterakenteen suunnitteluperiaatteiden valinta, Tampere University of Technology, Tampere, Luentomoniste, 56 p.

Lehtonen, T., Pakkanen, J., Järvenpää, J., Lanz, M. & Tuokko, R. (2011). Brownfield Process for Developing of Product Families, In: International Conference on Engineering Design, 15-18.8.2011, Technical University, Denmark.

Lumikko Technologies Oy Irtohöyrystin MTE7, Lumikko Technologies Oy, web page. Available (accessed 23.9.2017): http://lumikko.com/tuotteet/irtohoeyrystin_mte7/.

Lumikko Technologies Oy Yritys, Lumikko Technologies Oy, web page. Available (accessed 23.9.2017): <http://lumikko.com/yritys/>.

MAN, Förg, A., Stocker, J., Kreimeyer, M. & Lienkamp, M. (2014). Enabling modularisation potentials by standardized vehicle layouts, 27-29.8.2014, Aalto University Design Factory, Department of Engineering Design and Production, International Design Business Management Program and the Innovation Management Institute, Espoo.

Martin, M.V. & Ishii, K. (2002). Design for variety: Developing standardized and modularized product platform architectures, *Research in Engineering Design*, Vol. 13(4), pp. 213-235.

Martio, A. (2007). Modelling product families, A presentation by Variantum Oy, 16.4.2007, Helsinki University of Technology.

Martio, A. (2015). Tuotekonfigurointi ja tuotetiedon hallinta, 1st ed. Kirjapaino Bookcover Oy, Kurikka, 304 p.

McGrath, M. (1995). Product strategy for high-technology companies, Irwin Professional Publishing, New York.

Meyer, M. & Lehnerd, A.P. (1997). The power of product platform - building value and cost leadership, Free Press, New York.

Meyer, M. & Utterback, J. (1993). The product family and the dynamics of core capability, *Sloan Management Review*, Vol. Spring(1993), pp. 29-47.

Miller, T.H. & Elgård, P. (1999). Structuring Principles for the Designer - Balancing Product Performance with Process Efficiency, 1999 CIRP international Design Seminar, Kluwer Academic Publishers.

Moon, S.K., Park, J., Simpson, T.W. & Kumara, S.R.T. (2008). A dynamic multi-agent system based on a negotiation mechanism for product family design, *IEEE Trans Autom Sci Eng*, Vol. 5(2), pp. 234-244.

Moore, W.L., Louviere, J.J. & Verma, R. (1999). Using conjoint analysis to help design product platforms, *Journal of Product Innovation Management*, Vol. 16(1), pp. 27-39.

Mynott, T., Lawton, R. & Rhodes, C. (2018). Proposal to amend annex 1, appendix 2, paragraph 4.3.4 (ii), CRT, UK, Cambridge, CRT muistio CERTE kokoukseen 2018, 4 p.

Netrauta Ryobi One +, Netrauta, <https://www.netrauta.fi/ryobione>.

Nissan Goldberg Nissan Goldberg - Flickr, Flickr, web page. Available (accessed 06.01.2018): <https://www.flickr.com/photos/26645046@N05/2500452151/sizes/o/>.

Pakkanen, J. (2015). Brownfield Process: A Method for the Rationalisation of Existing Product Variety towards a Modular Product Family, Tampere University of Technology. Publication 1299, 296 p. Available: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-15-3537-6>.

- Pakkanen, J., Juuti, T. & Lehtonen, T. (2016). Brownfield Process: A method for modular product family development aiming for product configuration, *Design Studies*, Elsevier, Vol. 45(part B), pp. 210-241.
- Pakkanen, J., Lehtinen, J., Juuti, T. & Lehtonen, T. (2013). The Module System and its requirements for PDM/PLM systems, *Proceedings of the 1st PDM forum for Finland-Russia collaboration*, April 25-26, Lappeenranta University of Technology, Lappeenranta.
- Perera, H.S.C., Nagarur, N. & Tabucanon, M.T. (1999). Component part standardization: a way to reduce the life-cycle costs of products, *International Journal of Production Economics*, Vol. 60 pp. 109-116.
- Pine, B.J. (1993). *Mass customization: The new frontier in business competition*, Harvard Business School Press, Boston.
- Pulkkinen, A. (2007). *Product Configuration in Projecting Company: The Meeting of Configurable Product Families and Sales-Delivery Process*, Tampere University of Technology, 184 p.
- Robertson, D. & Ulrich, K. (1998). Planning product platforms, *Sloan Management Review*, Vol. 29(4), pp. 19-31.
- Rothwell, R. & Gardiner, P. (1990). Robustness and product design families, in: Oakley, M. (ed.), *Design management: A handbook of issues and methods*, Basil Blackwell, Cambridge, MA, pp. 279-292.
- Ryobi About the Ryobi 18V ONE+ System, Ryobi Limited, web page. Available (accessed 21.11.2017): <https://www.ryobitools.com/products/list/family/one-plus>.
- Sawhney, M.S. (1998). Leveraged high-variety strategies: From portfolio thinking to platform thinking, *Journal of the Academy of Marketing Science*, Vol. 26(1), pp. 54-61.
- Simpson, T.W. (2004). Product platform design and customization: Status and promise, *AIEDAM*, Vol. 19(1), pp. 3-20.
- Simpson, T.W., Maier, J.R.A. & Mistree, F. (2001). Product platform design: Method and application, *Research in Engineering Design*, Vol. 13(1), pp. 2-22.
- Simpson, T.W., Siddique, Z. & Jiao, J. (2005). *Product platform and product family design: method and applications*, Springer, New York, NY.
- Steward, D.V. (1981). The Design Structure System: A Method for Managing the Design of Complex Systems, *IEEE Transactions on Engineering Management*, Vol. EM-28(3), pp. 71-74.
- Suh, N.P. (2001). *Axiomatic design: Advances and applications*, Oxford University Press, New York.

Sundgren, N. (1999). Introducing interface management in product family development, *Journal of Production Innovation Management*, Vol. 16(1), pp. 40-51.

Tseng, M.M. & Jiao, J. (1996). Design for mass customization, *CIRP Annals*, Vol. 45(1), pp. 153-156.

Ulrich, K. & Eppinger, S. (2008). *Product Design and Development*, 4th ed. McGraw-Hill, New York, 368 p.

Ulrich, K. (1995). The role of product architecture in the manufacturing firm, *Res Policy*, Vol. 24 pp. 419-440.

Ulrich, K. & Tung, K. (ed.). 1991. *Fundamentals of product modularity*. New York, ASME, DE-39. 73-79 p.

Asennusohje MTE7 (2017). Lumikko Technologies Oy.

Varaosakirja MTE7 (2018). Lumikko Technologies Oy.

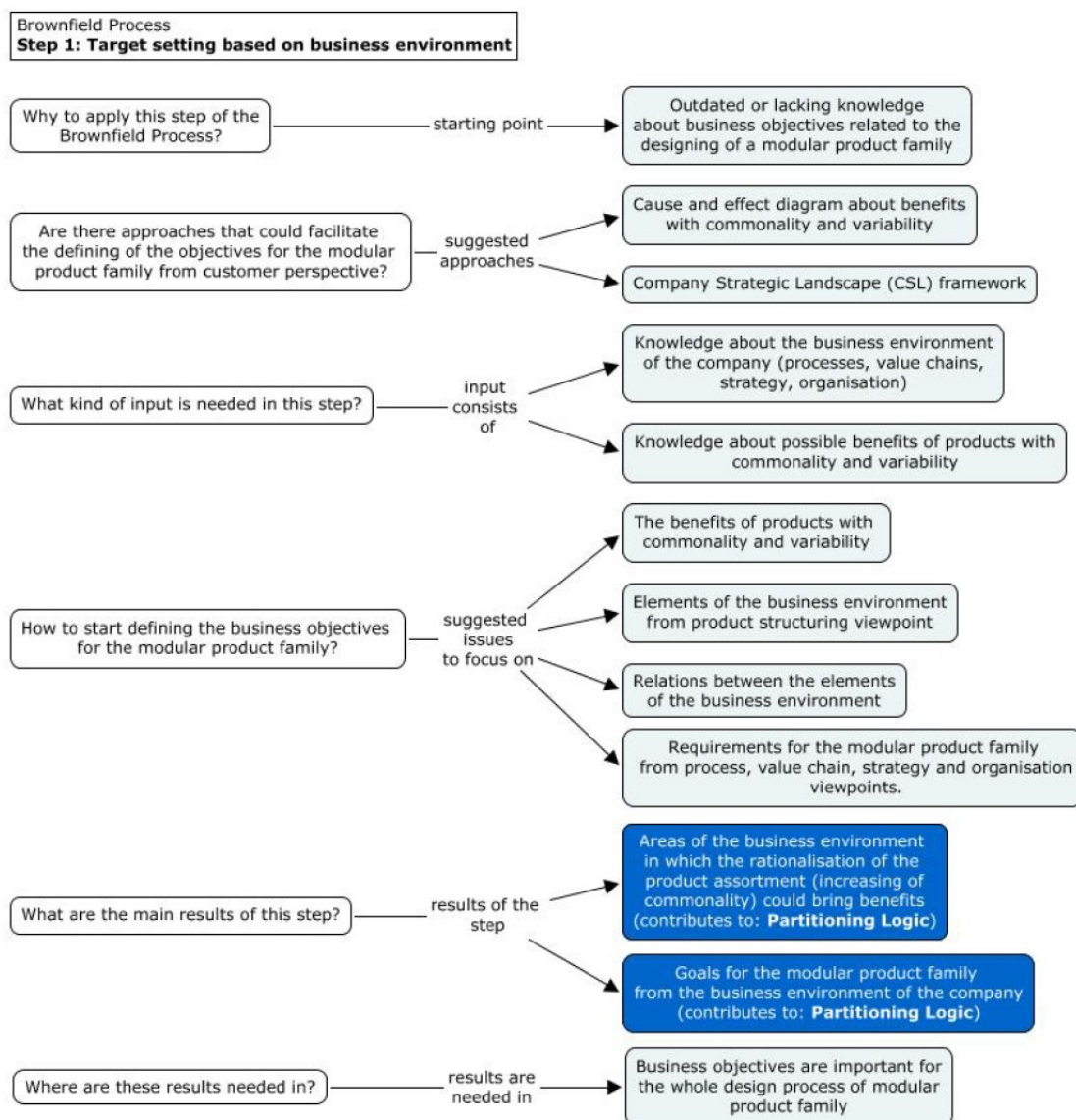
Wacker, J.G. & Treleven, M. (1986). Component part standardization: An analysis of commonality sources and indices, *Journal of Operations Management*, Vol. 6(2), pp. 219-244.

Wilhelm, B.: (1997). Platform and Modular Concepts at Volkswagen - Their Effects on the Assembly Process, in: Shimokawa, K., Jürgens, U. & Fujimoto, T. (ed.), *Transforming automobile assembly*, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp. 146-156.

Wortmann, J.C., Muntslag, D.R. & Timmermans, P.J.M. (1997). *Customer driven manufacturing*, Chapman & Hall, London.

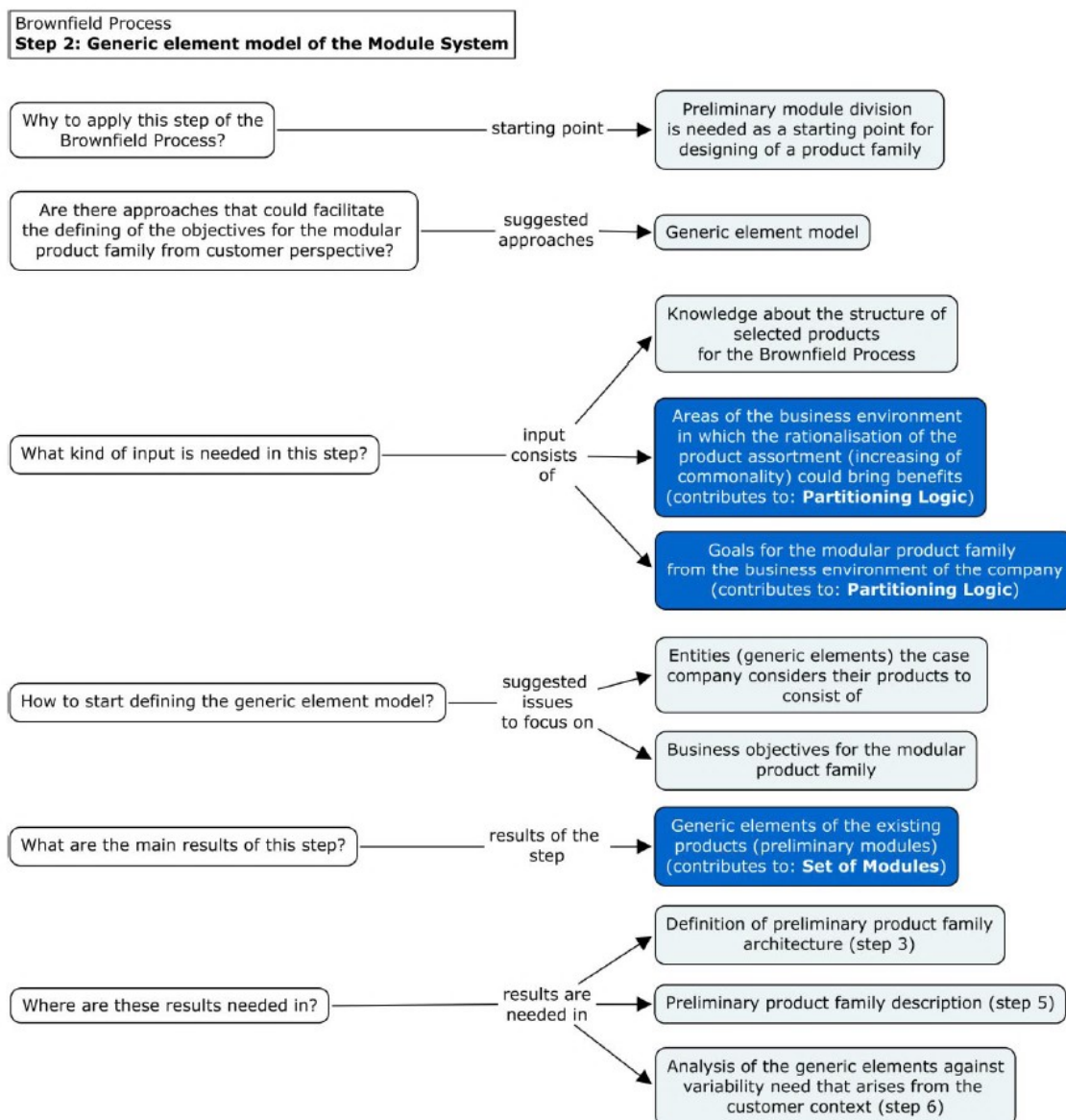
Zamirowski, E.J. & Otto, K.N. (1999). Identifying product portfolio architecture modularity using function and variety heuristics, In *ASME design engineering technical conferences*, DETC99/DTM-876, Las Vegas, NV.

LIITE A: BFP ASKEL 1 PÄÄSISÄLTÖ



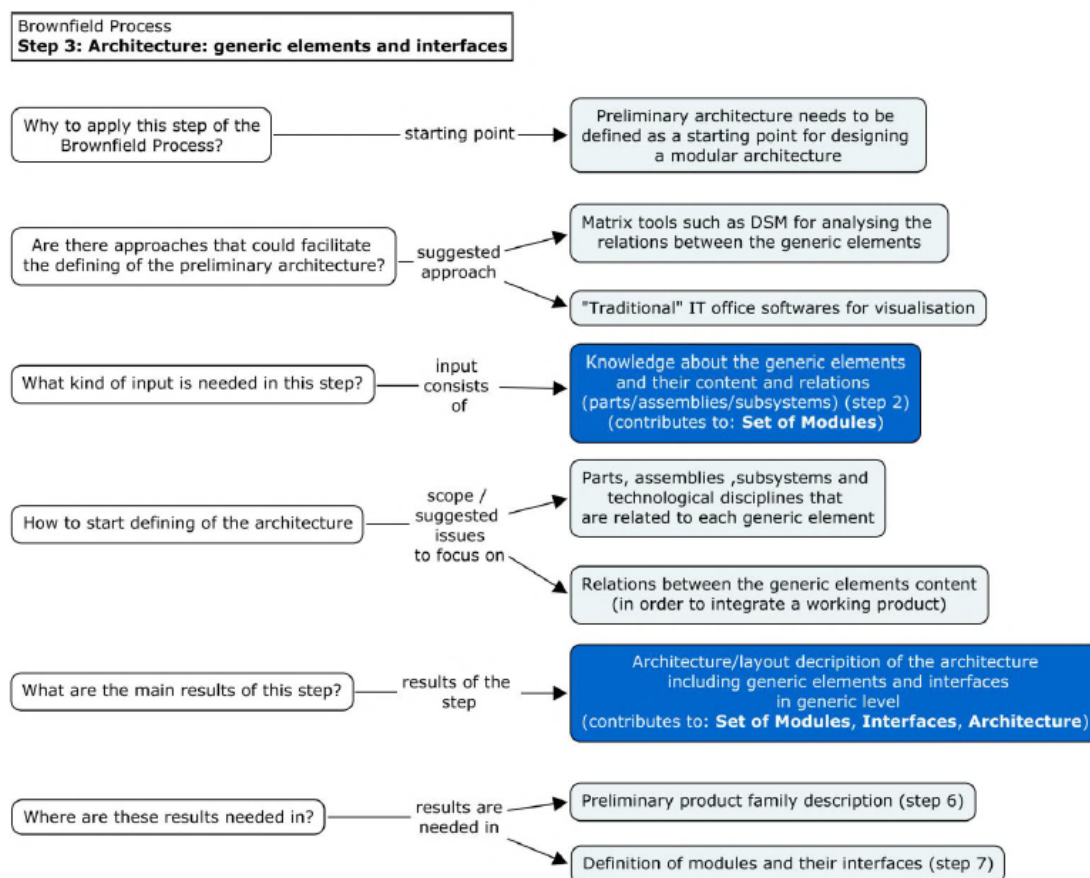
Kuva 59. BfP:n askeleen 1 pääsisältö (Tavoitteen asettaminen liiketoimintaympäristöön perustuen) (Pakkanen 2015).

LIITE B: BFP ASKEL 2 PÄÄSISÄLTÖ



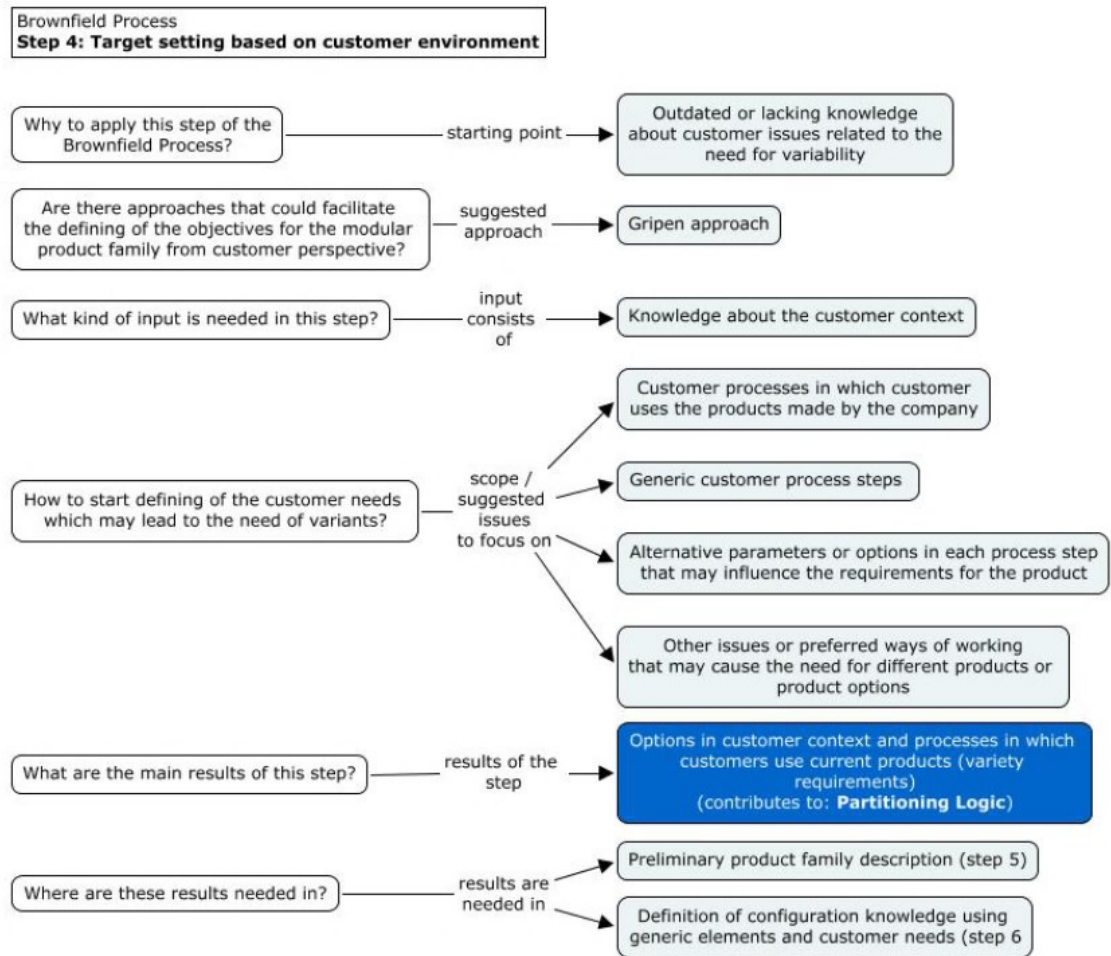
Kuva 60. BfP:n askeleen 2 pääsisältö (Geneerinen elementtimalli moduulijärjestelmässä) (Pakkanen 2015).

LIITE C: BFP ASKEL 3 PÄÄSISÄLTÖ



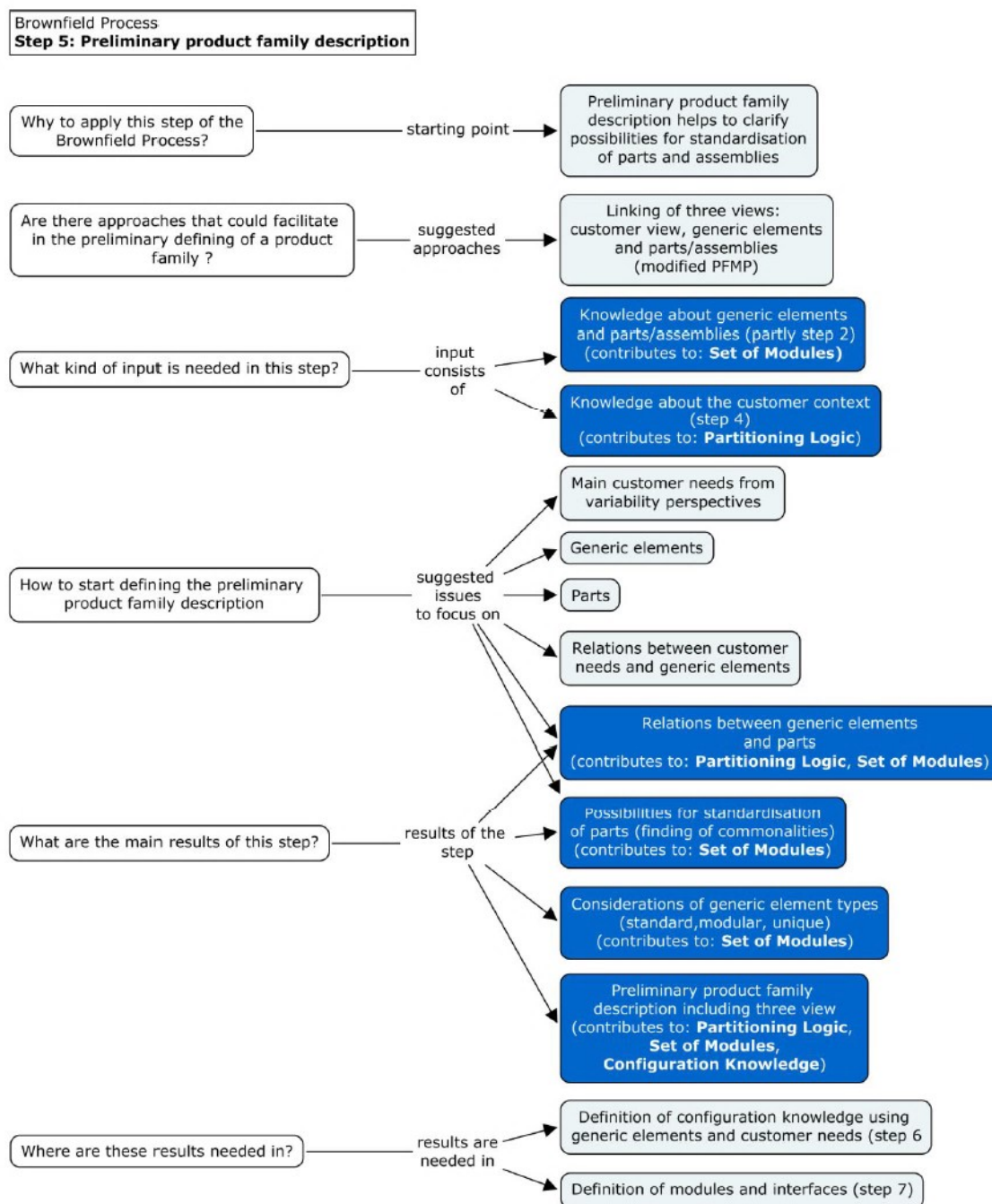
Kuva 61. BfP:n askeleen 3 pääsisältö (Arkkitehtuuri: geneeriset elementit ja rajapinnat) (Pakkanen 2015).

LIITE D: BFP ASKEL 4 PÄÄSISÄLTÖ



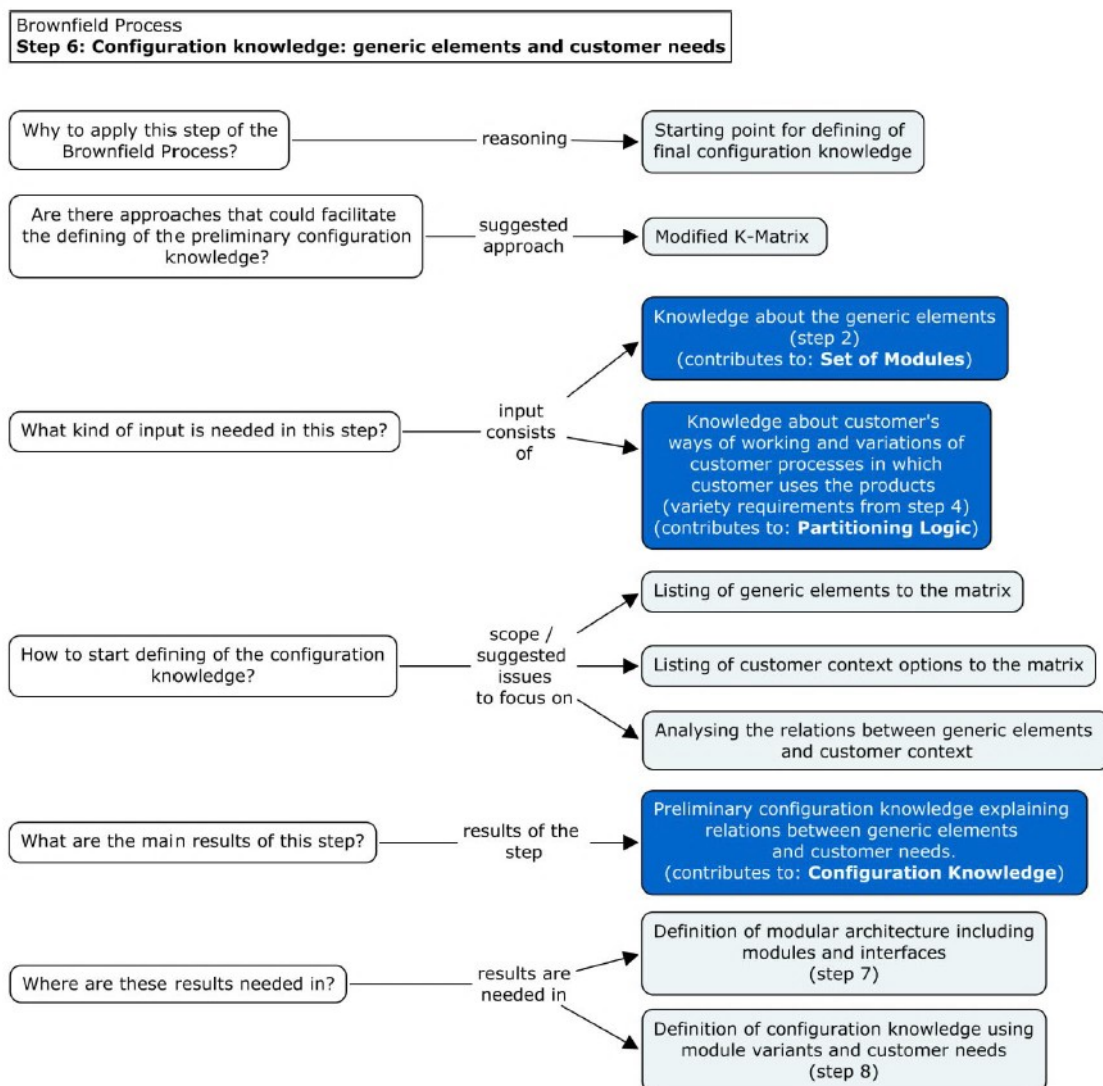
Kuva 62. BfP:n askeleen 4 pääsisältö (Tavoitteen asettelu asiakasrajapintaan perustuen) (Pakkanen 2015).

LIITE E: BFP ASKEL 5 PÄÄSISÄLTÖ



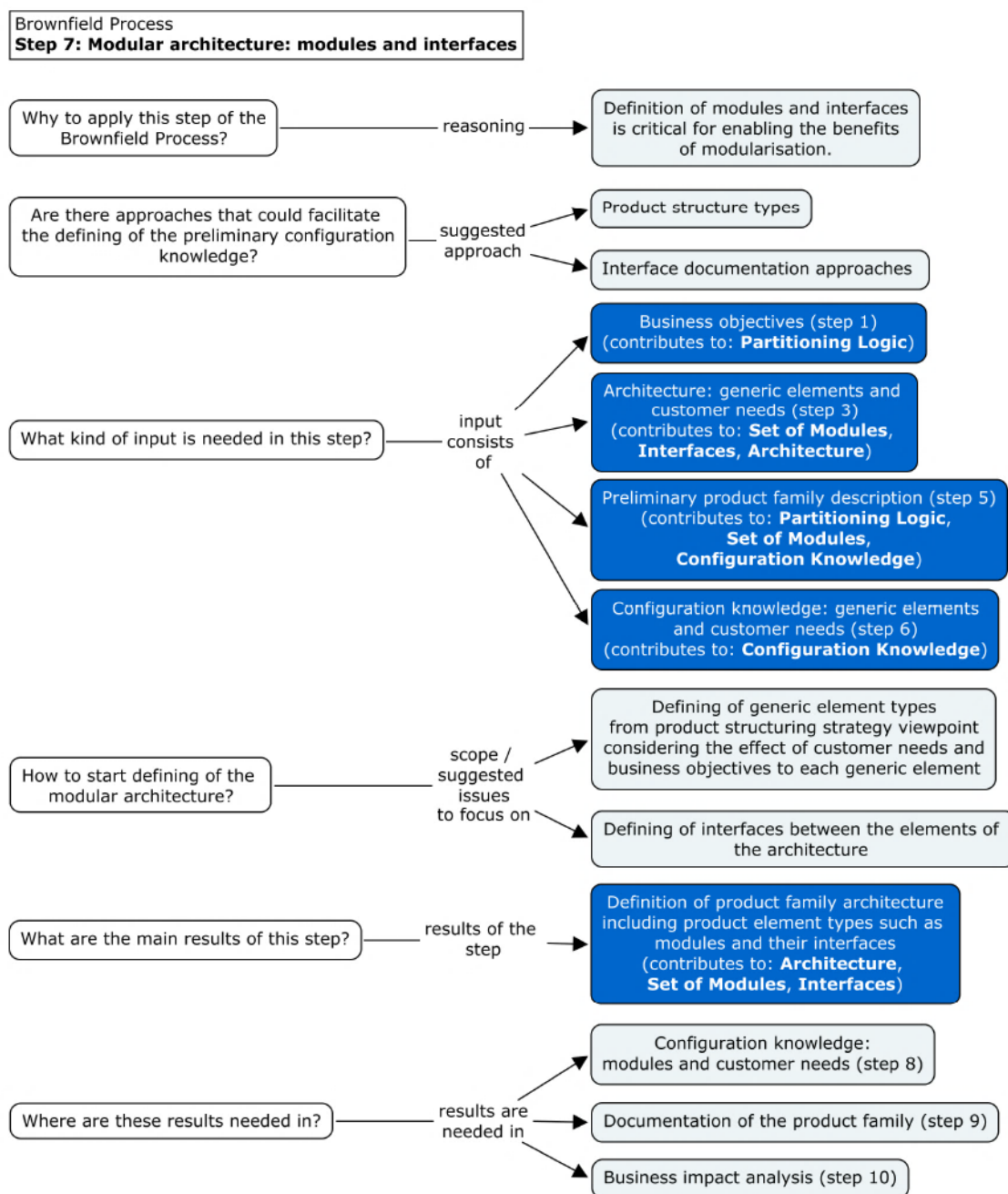
Kuva 63. BfP:n askeleen 5 pääsisältö (Alustava tuoteperhekuvaus) (Pakkanen 2015).

LIITE F: BFP ASKEL 6 PÄÄSISÄLTÖ



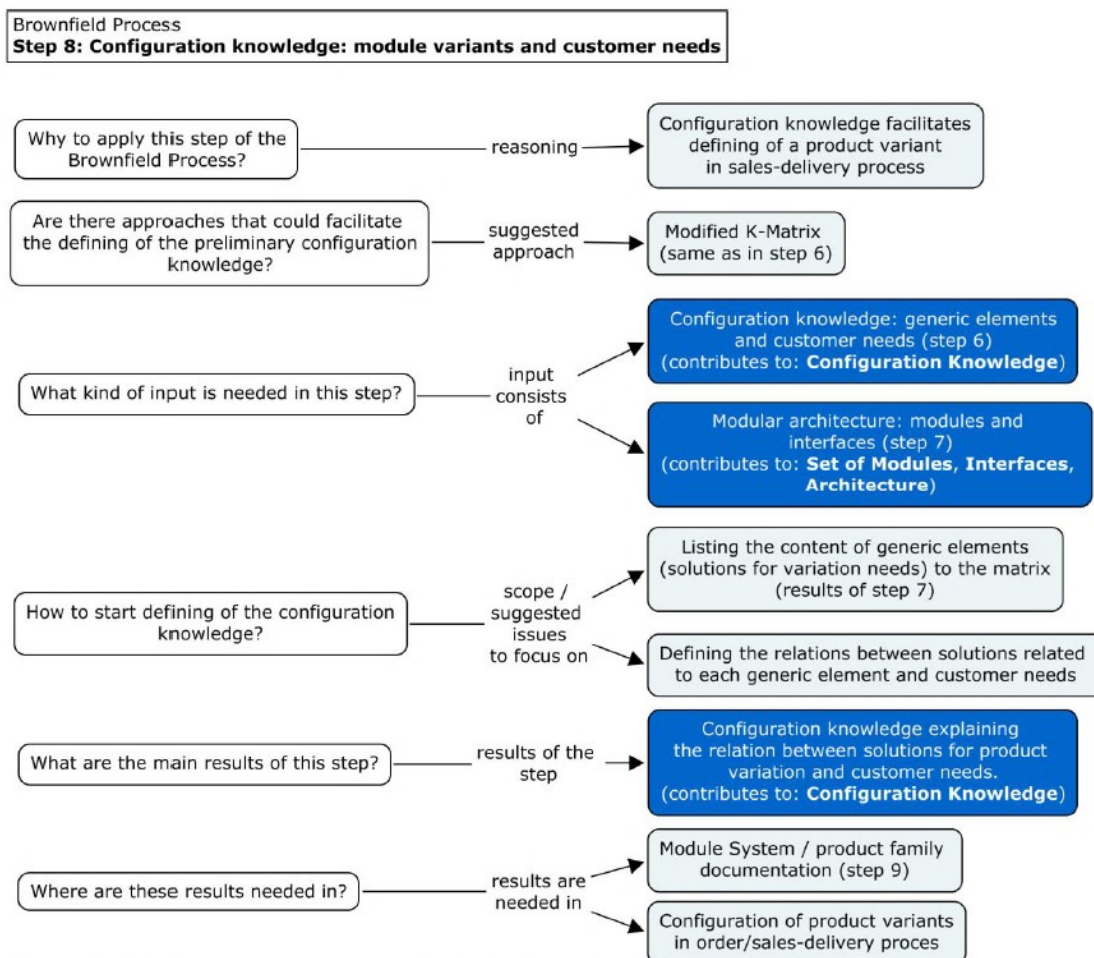
Kuva 64. BfP:n askeleen 6 pääsisältö (Konfigurointitietämys: geneeriset elementit ja asiakastarpeet) (Pakkanen 2015).

LIITE G: BFP ASKEL 7 PÄÄSISÄLTÖ



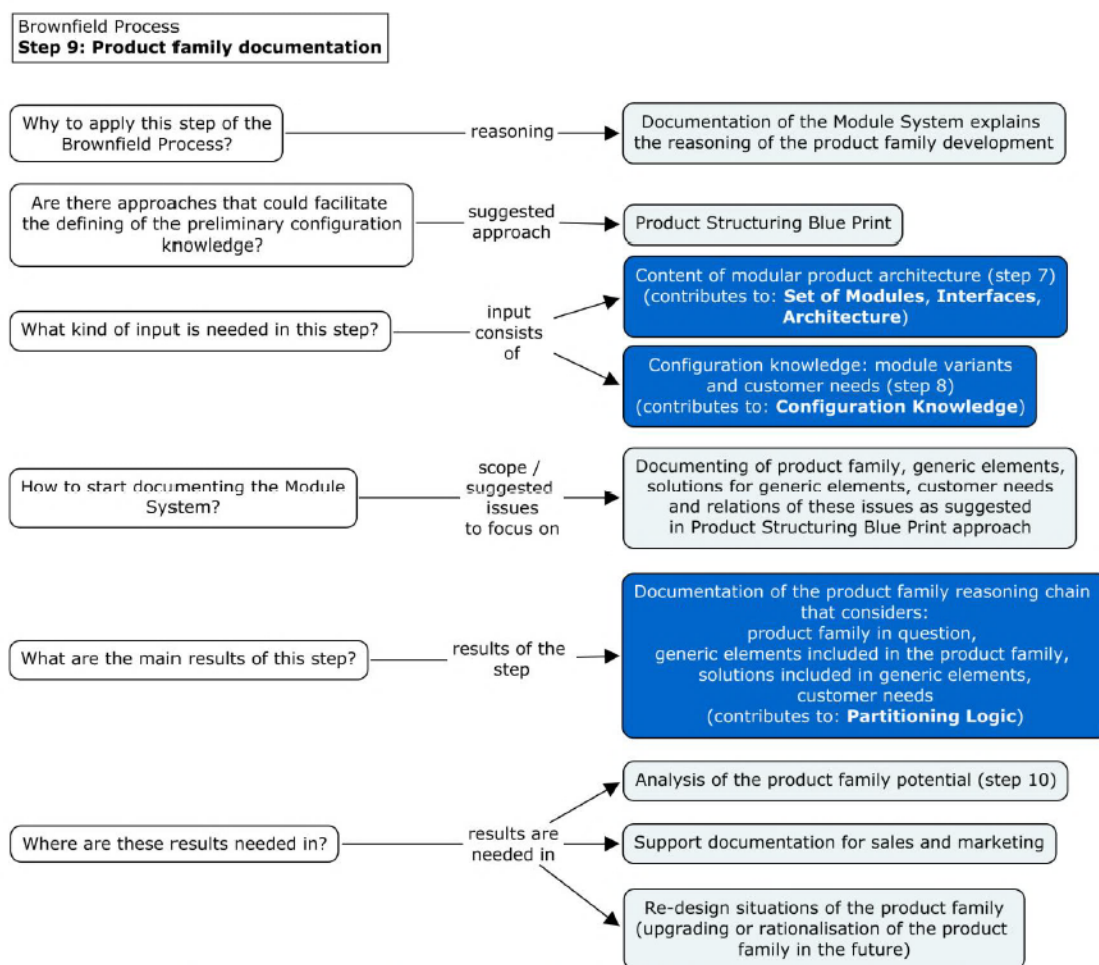
Kuva 65. BfP:n askeleen 7 pääsisältö (Moduuliarkkitehtuuri: moduulit ja rajapinnat) (Pakkanen 2015).

LIITE H: BFP ASKEL 8 PÄÄSISÄLTÖ



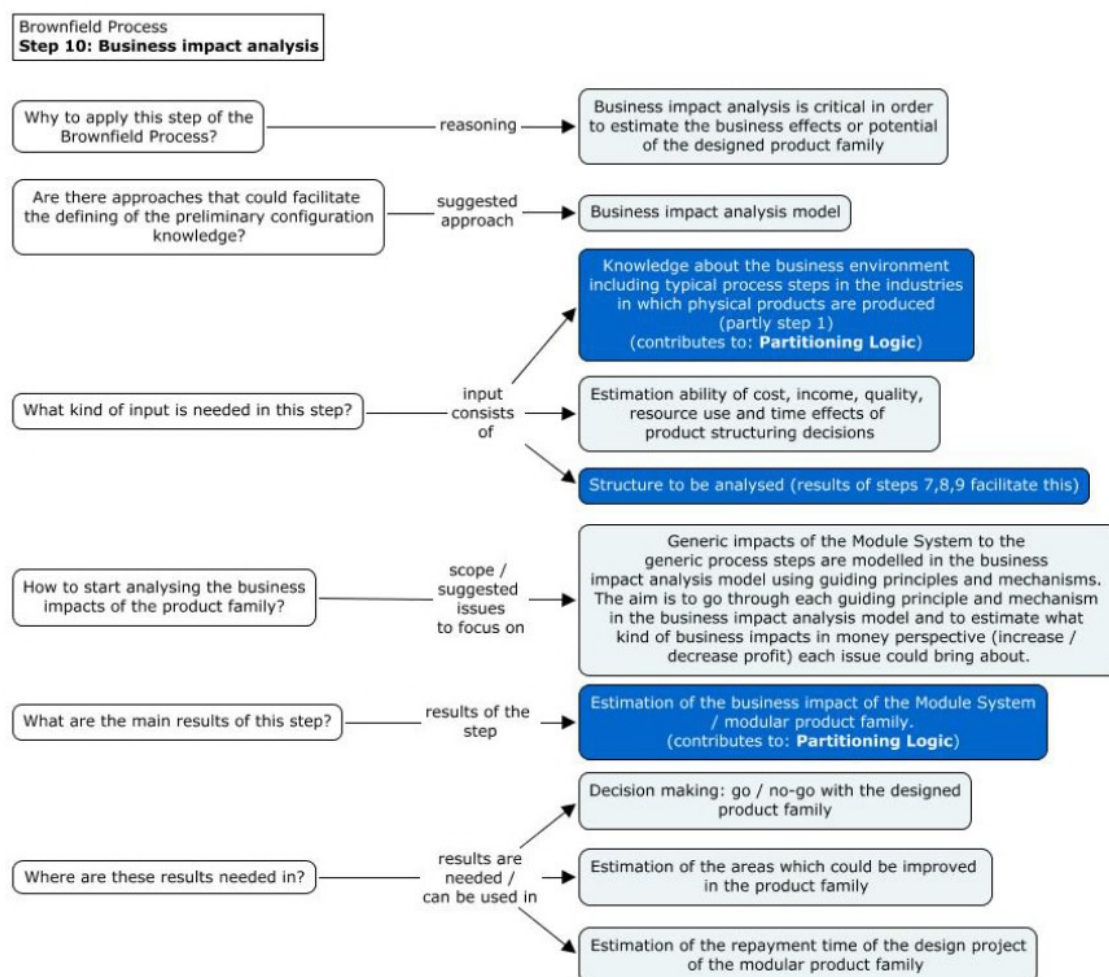
Kuva 66. BfP:n askeleen 8 pääsisältö (Konfigurointitietämys: moduulivariantit ja asiakastarpeet) (Pakkanen 2015).

LIITE I: BFP ASKEL 9 PÄÄSISÄLTÖ



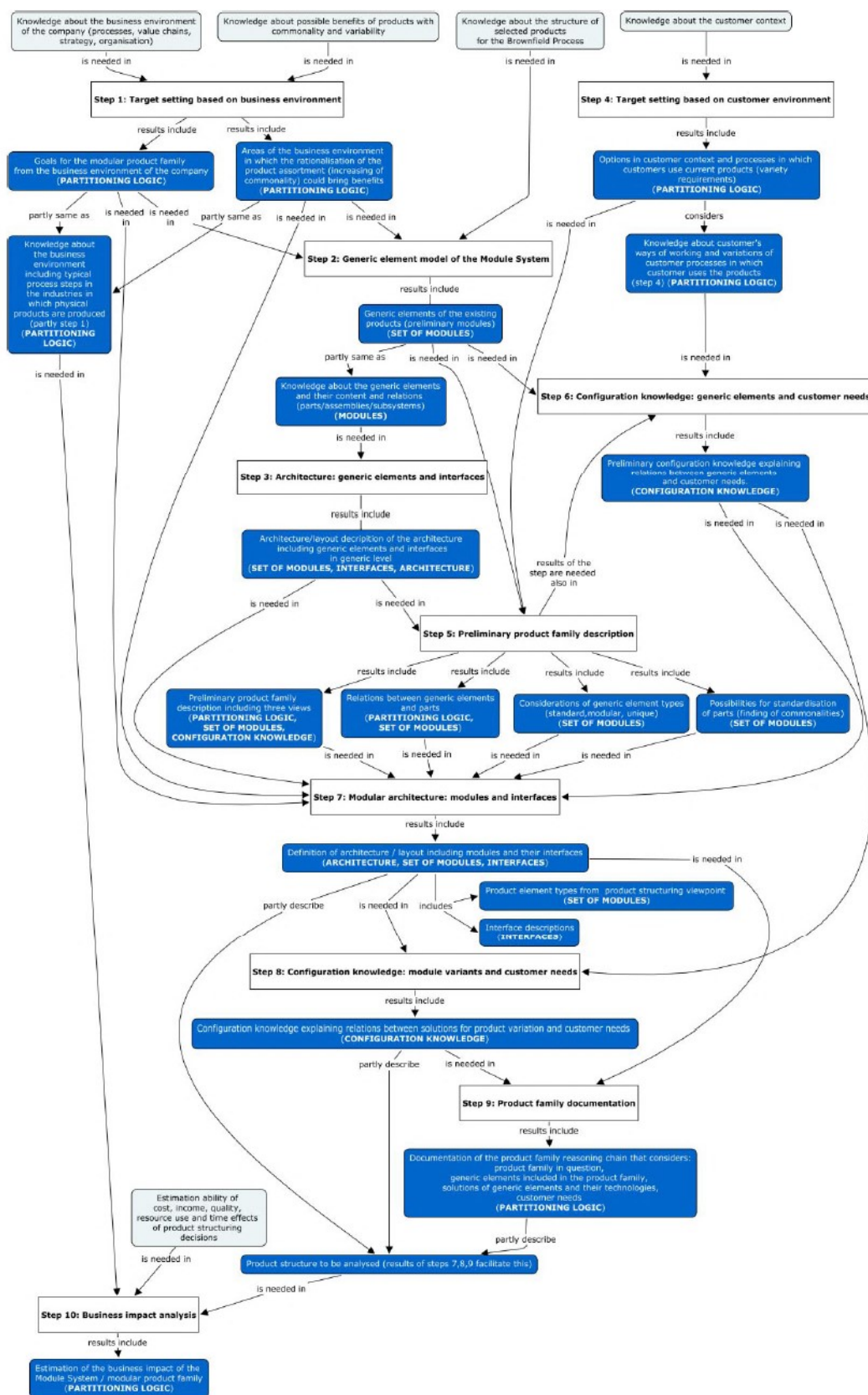
Kuva 67. BfP:n askeleen 9 pääsisältö (Tuoteperheen dokumentointi) (Pakkanen 2015).

LIITE J: BFP ASKEL 10 PÄÄSISÄLTÖ



Kuva 68. BfP:n askeleen 10 pääsisältö (Liiketoimintavaikutusanalyysi) (Pakkanen 2015).

LIITE K: BFP:N YHTEENVETO



Kuva 69. BfP:n yhteenveto (Pakkanen 2015).